

PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE

MANUEL JOSÉ DE SOUSA E SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JANEIRO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

“Viver efectivamente é viver com informação adequada.”

Norbert Wiener

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação, mais que um projecto, é o culminar dum objectivo de vida, o ponto alto dum percurso académico. Dada a sua importância todas as palavras são escassas para expor o profundo agradecimento, tornando-se impossível, numa só página, mencionar devidamente todos aqueles merecedores de referência.

Assim, e tentando não me tornar demasiado sucinto, começo por agradecer numa forma geral a família, professores, amigos e conhecidos que, conscientemente ou não, me ajudaram a superar todas as dificuldades vividas não só no decorrer desta dissertação mas também em todo o meu percurso académico.

Sob um prisma mais restrito, quero começar por expressar a minha profunda gratidão ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, que, com toda a sua simpatia, disponibilidade e paciência, me orientou ao longo desta dissertação.

O meu muito obrigado a todos os colegas de faculdade e amigos que me ouviram e criticaram, ajudando-me com o evoluir deste projecto, com especial atenção para a Maria que, além do já mencionado, também me apoiou e confortou nos momentos mais difíceis.

Por fim, o mais importante de todos os agradecimentos, para o qual não há palavra nem idioma capaz de devidamente descrever. Agradeço à minha mãe por me ter mostrado com actos o verdadeiro significado de certas palavras como esforço; sacrifício; perseverança; carinho e compreensão.

RESUMO

É objectivo desta dissertação elaborar um projecto de execução geométrico de um nó em diamante com rotundas.

Para que tal seja possível torna-se necessário perceber as características e funcionalidades deste nó e das intersecções desniveladas em geral, assim como ponderar sobre todos os condicionamentos que se impõem à projecção deste tipo de obra de vias de comunicação de forma a perceber o seu contexto.

Assim, recorrendo ao programa de desenho assistido por computador “AutoCAD Civil 3D 2010” foi possível atingir o objectivo desta dissertação com maior eficiência. Começou-se então por observar a zona onde se localizaria o nó em diamante seguida pela decisão da localização das rotundas, passo que permitiu passar para a definição tanto do restabelecimento como dos ramos de ligação. Para a correcta elaboração do nó em diamante, colocou-se em prática conhecimentos adquiridos no Mestrado Integrado em Engenharia Civil com relevância para as disciplinas Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II e as leccionadas no 5º ano de curso na especialidade de Vias de Comunicação.

PALAVRAS-CHAVE: Nó em Diamante, Rotundas, Pontos de Conflito, Condicionamentos, Projecto.

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to elaborate a project of geometric execution of a diamond interchange with roundabouts.

In order to fulfil such a goal it is necessary to understand the features of this interchange in particular and of unlevelled intersections in general, as well as to contemplate over all the constraints that are imposed in these types of projects so as to understand its context.

Thus, using the computer assisted design software AutoCAD Civil 3D 2010 it became possible to accomplish this goal more efficiently. Beginning with the recognition of the terrain where the interchange would be input followed by the decision of where to locate the roundabouts, which allowed moving not only for the definition of the reestablishment but also the connection branches. For a correct elaboration of the diamond interchange, all the knowledge acquired during the course was fundamental, with the subjects “Vias de Comunicação I”, “Vias de Comunicação II” and those lectured in the fifth year in the specialty of “Vias de Comunicação” being considered the most pertinent.

KEYWORDS: Diamond Interchange, Roundabouts, Conflict Points, Constraints, Project.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. DOS PRIMÓRDIOS À ACTUALIDADE. O CRESCER DUMA NECESSIDADE	1
1.2. DISPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2

2. CONTEXTUALIZAÇÃO	3
2.1. NÓS DE LIGAÇÃO EM DETRIMENTO DE INTERSECÇÕES DE NÍVEL	3
2.1.1. INTERSECÇÕES DE NÍVEL	3
2.1.2. NÓS DE LIGAÇÃO	5
2.1.3. APLICABILIDADE	6
2.2. DIAMANTE E MEIO-TREVO INCOMPLETO. CONFRONTO DIRECTO	8
2.3. NÓ EM DIAMANTE. CLÁSSICO OU ROTUNDAS	10
2.4. CONDICIONAMENTOS	11
2.4.1. NORMAS	12
2.4.1.1. Normas do traçado	12
2.4.1.2. Norma de intersecções	17
2.4.1.3. Norma de nós de ligação	18
2.4.1.4. Normas espanholas	21
2.4.2. CARACTERÍSTICAS DO TERRENO	21

3. DETALHES DE PROJECTO, CÁLCULOS E RESULTADOS	23
3.1. ENQUADRAMENTO	23
3.2. ROTUNDAS	24
3.2.1. ROTUNDA A	25
3.2.2. ROTUNDA B	27
3.3. RESTABELECIMENTO	30
3.3.1. RESTABELECIMENTO 1	30

3.3.2. RESTABELECIMENTO 2	35
3.3.3. RESTABELECIMENTO 3	37
3.4. RAMOS DE LIGAÇÃO	39
3.4.1. RAMO 1	41
3.4.2. RAMO 2	44
3.4.3. RAMO 3	47
3.4.4. RAMO 4	49
3.5. VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE	52
3.5.1. VIAS DE ABRANDAMENTO	52
3.5.2. VIAS DE ACELERAÇÃO	54

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

57

BIBLIOGRAFIA

59

ANEXOS

I

A1 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 1	III
A2 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 2	IX
A3 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 3	XV
A4 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 4	XXI
A5 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 1	XXVII
A6 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 2	XXIX
A7 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 3	XXXIII
A8 ELEMENTOS DEFINIDORES DOS PERFIS LONGITUDINAIS DAS ROTUNDAS EXISTENTES	XXXV

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 - Pontos de conflito num cruzamento de 4 ramos.....	4
Fig.2 - Diminuição da área de conflito pela introdução de separadores.....	4
Fig.3 - Variante de um nó em trevo (googlemaps, 2010)	6
Fig.4 - Solução a adoptar mediante a categoria das estradas que se intersectam segundo o PRN 2000.....	7
Fig.5 - Nó em diamante clássico (googlemaps, 2010).....	8
Fig.6 - Nó em meio-trevo incompleto (googlemaps, 2010).....	9
Fig.7 - Nó em diamante com rotundas (googlemaps, 2010).....	11
Fig.8 - Dimensionamento básico de rotundas.....	18
Fig.9 - Velocidade base para ramos de ligação.....	20
Fig.10 - Planta com topografia do terreno.....	23
Fig.11 - Eixos da Estrada Principal e Restabelecimento	24
Fig.12 - Centro Rotunda A	25
Fig.13 - Rasante Rotunda A.....	26
Fig.14 - Dimensionamento Planta Rotunda A.....	27
Fig.15 - Centro Rotunda B	28
Fig.16 - Rasante Rotunda B.....	29
Fig.17 - Dimensionamento Planta Rotunda B.....	29
Fig.18 - Planta Restabelecimento 1	32
Fig.19 - Perfil Longitudinal Restabelecimento 1.....	33
Fig.20 - Pormenor da convergência à rotunda A da rasante do Restabelecimento 1	34
Fig.21 - Ponto de intersecção entre Restabelecimento 1 e Rotunda A.....	34
Fig.22 - Planta Restabelecimento 2	35
Fig.23 - Perfil Longitudinal Restabelecimento 2.....	36
Fig.24 - Planta Restabelecimento 3	38
Fig.25 - Perfil Longitudinal Restabelecimento 3.....	39
Fig.26 - Planta Ramo 1	42
Fig.27 - Saída da Estrada Principal pelo Ramo 1	43
Fig.28 - Perfil Longitudinal Ramo 1	43
Fig.29 - Planta Ramo 2	44
Fig.30 - Pormenor com condicionantes de ocupação do solo do Ramo 2	46
Fig.31 - Perfil Longitudinal Ramo 2.....	46

Fig.32 - Planta Ramo 3.....	48
Fig.33 - Perfil Longitudinal Ramo 3	49
Fig.34 - Planta Ramo 4.....	49
Fig.35 - Pormenor Planta Ramo 4, condicionantes de ocupação do solo	50
Fig.36 - Construção da Curva Ovíde do Ramo 4	51
Fig.37 - Perfil Longitudinal Ramo 4	52
Fig.38 - Construção de via de abrandamento em diagonal	53
Fig.39 - Taper Ramo 2.....	55
Fig.41 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 1	iii
Fig.42 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.	iii
Fig.43 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 1	iii
Fig.44 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 1 e a Rotunda B	vii
Fig.45 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Ramo 1	vii
Fig.46 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 2.....	ix
Fig.47 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.	ix
Fig.48 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 2	ix
Fig.49 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 2 e a Rotunda B	xiii
Fig.50 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Ramo 2	xiii
Fig.51 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 3.....	xv
Fig.52 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.	xv
Fig.53 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 3	xv
Fig.54 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 3 e a Rotunda A.....	xix
Fig.55 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Ramo 3	xix
Fig.56 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 4.....	xxi
Fig.57 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.	xxi
Fig.58 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 4	xxi
Fig.59 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 4 e a Rotunda A.....	xxv
Fig.60 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Ramo 4	xxv
Fig.61 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 1 e a Rotunda A.....	xxvii
Fig.62 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Restabelecimento 1	xxvii
Fig.63 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 2 e a Rotunda A.....	xxix
Fig.64 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Restabelecimento 2.....	xxix
Fig.65 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 2 e a Rotunda B.....	xxxi

Fig.66 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Restabelecimento 2	xxxi
Fig.67 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 3 e a Rotunda B	xxxiii
Fig.68 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Restabelecimento 3	xxxiii

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Raios mínimos absolutos	13
Quadro 2 - Raios mínimos normais.....	13
Quadro 3 - Sobreelevação em curva circular.....	14
Quadro 4 - Inclinação máxima dos traineis	15
Quadro 5 - Extensão crítica dos traineis	15
Quadro 6 - Raios mínimos em concordâncias convexas.....	16
Quadro 7 - Desenvolvimentos mínimos em concordâncias convexas	16
Quadro 8 - Raios mínimos em concordâncias côncavas.....	17
Quadro 9 - Desenvolvimentos mínimos em concordâncias côncavas	17
Quadro 10 - Distância de visibilidade de decisão	19
Quadro 11 - Sobreelevação dos ramos de ligação.....	19
Quadro 12 - Transição da sobreelevação nas curvas dos ramos de ligação	20
Quadro 13 - Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação	21
Quadro 14 - Coordenadas Rotunda A	26
Quadro 15 - Coordenadas Rotunda B	28
Quadro 16 - Coordenadas Restabelecimento 1	31
Quadro 17 - Estudo de curvas para o Restabelecimento 1	32
Quadro 18 - Coordenadas Restabelecimento 2.....	35
Quadro 19 - Coordenadas Restabelecimento 3.....	37
Quadro 20 - Estudo de curvas para o Restabelecimento 3	38
Quadro 21 - Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação.....	39
Quadro 22 - Coordenadas do Ramo 1	41
Quadro 23 - Estudo de curvas para o Ramo 1	42
Quadro 24 - Coordenadas Ramo 2	45
Quadro 25 - Estudo de curvas para o Ramo 2	45
Quadro 26 - Coordenadas Ramo 3	47
Quadro 27 - Estudo de curvas para o Ramo 3	48
Quadro 28 - Coordenadas Ramo 4	50
Quadro 29 - Estudo de curva ovóide para o Ramo 4.....	51
Quadro 30 - Estudo de curva ovóide para o Ramo 4.....	51
Quadro 31 - Comprimentos de EB	53

Quadro 32 - Factores de correcção.....	53
Quadro 33 - Comprimentos de vias de aceleração.....	54
Quadro 35 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	iv
Quadro 36 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	v
Quadro 37 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	vi
Quadro 38 – Estudo das Características do Ramo 1 na intersecção com a Rotunda B	vii
Quadro 39 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 1.....	viii
Quadro 40 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	x
Quadro 41 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xi
Quadro 42 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xii
Quadro 43 – Estudo das Características do Ramo 2 na intersecção com a Rotunda B	xiii
Quadro 44 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 2.....	xiv
Quadro 45 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xvi
Quadro 46 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xvii
Quadro 47 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xviii
Quadro 48 – Estudo das Características do Ramo 3 na intersecção com a Rotunda A	xix
Quadro 49 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 3.....	xx
Quadro 50 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xxii
Quadro 51 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xxiii
Quadro 52 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância	xxiv
Quadro 53 – Estudo das Características do Ramo 4 na intersecção com a Rotunda A	xxv
Quadro 54 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 4.....	xxvi
Quadro 55 – Estudo das Características do Restabelecimento 1 na intersecção com a Rotunda A.....	xxviii
Quadro 56 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 1	xxviii
Quadro 57 – Estudo das Características do Restabelecimento 2 na intersecção com a Rotunda A.....	xxx
Quadro 58 – Estudo das Características do Restabelecimento 2 na intersecção com a Rotunda B.....	xxxi
Quadro 59 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 2	xxxii
Quadro 60 – Estudo das Características do Restabelecimento 3 na intersecção com a Rotunda B.....	xxxiii
Quadro 61 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 3	xxxiv
Quadro 62 – Elementos definidores da Rasante da Rotunda A	xxxv
Quadro 63 – Elementos definidores da Rasante da Rotunda B	xxxvi

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

gr - grados

JAЕ - Junta Autónoma das Estradas

PRN 2000 - Plano Rodoviário Nacional

km/h - Quilómetro por hora

m - Metro

V_B - Velocidade base

R.A - Raio mínimo absoluto

R.N. - Raio mínimo normal

Se - Sobreelevação

R - Raio

SI - Sobrelargura

i - inclinação

i_{\max} - inclinação máxima

ext. crit. - Extensão crítica

Δi_e - Variação da inclinação do bordo exterior

V - Velocidade

R_{\min} - Raio mínimo

D_{\min} - Desenvolvimento mínimo

Dist. Vis. - Distância de visibilidade

ΔSe - Variação de sobreelevação

L_t - Largura total

D.O. - Dono-de-obra

O.A. - Obra-de-arte

A - Parâmetro da clotóide

ΔR - Ripagem

L - Extensão da curva de transição

Ω - Ângulo de desvio entre alinhamentos rectos

τ - Ângulo das tangentes

rad - radianos

R_p - Raio pequeno

R_g - Raio grande

E.P. - Estrada Principal

1

INTRODUÇÃO

1.1. DOS PRIMÓRDIOS À ACTUALIDADE. O CRESCER DUMA NECESSIDADE

A necessidade de deslocação é, desde sempre, fundamental para a sobrevivência do ser humano. Ainda com hábitos nómadas, as comunidades percorriam rotas sazonalmente, motivadas pela necessidade de se defenderem das condições climáticas adversas e pela procura constante de alimentos. Com a descoberta da agricultura, os hábitos nómadas foram naturalmente abandonados por sedentários e as rotas percorridas transformaram-se em caminhos.

Sem data de nascimento precisa, a roda acompanha, lado a lado, a evolução de comunidades e suas trocas comerciais. Com o decorrer de milénios e inúmeros progressos tecnológicos, a sua aplicação torna-se mais abrangente, intensificando o comércio e proporcionando deslocações mais rápidas. De facto, desde tempos pré-históricos aos actuais, a necessidade de deslocação intensificou-se, existindo, hoje em dia, razões intermináveis, que aos olhos do homem moderno justificam uma deslocação. De caminhos apenas percorridos por pessoas e animais até à complexidade das vias actuais, a tecnologia levou à evolução gradual na qualidade das estradas e no seu traçado, numa procura incessante de soluções para as problemáticas de cada era.

Actualmente, o tráfego automóvel é de elevada intensidade sobretudo dentro de grandes cidades e na ligação entre estas. Nesta sociedade moderna, de estrutura complexa, em que a livre circulação de bens, pessoas e capitais é necessidade primordial, o seu completo funcionamento depende em muito da qualidade das vias de comunicação que a compõe. Torna-se, assim, cada vez mais uma sociedade que não conhece fronteiras nem limites.

Independentemente da evolução na rapidez, eficácia e comodidade dos meios de transporte e vias existentes, independentemente de vivermos numa comunidade consciente e sensibilizada para os problemas actuais, sobretudo no que respeita a todo o tipo de poluição provocada pelo tráfego automóvel, os meios de transporte públicos continuam a ser preteridos ao veículo automóvel pessoal. Tal situação provoca uma grande intensidade de tráfego automóvel, sobretudo nas grandes artérias existentes no interior e em redor dos grandes centros urbanos, de tal modo que a intervenção de engenheiros civis em prol dum correcto funcionamento destas estruturas e sua optimização torna-se fulcral.

É então objectivo desta dissertação elaborar um projecto de execução geométrico de um nó em diamante. No entanto é insuficiente uma só frase para conseguir explicar tudo aquilo que a engloba, correndo o risco duma interpretação desprovida de veracidade. Deve-se, assim, dar relevo à forma como se optimizam projectos de tal ordem, pelo que é necessário alertar a todo um conjunto de situações que acabam por moldar as suas características. Assim, seguindo normas e contornando

factores condicionantes, como a topografia e a ocupação do solo, estudam-se soluções, de forma a tentar atingir o resultado final de maior segurança e menor custo.

1.2. DISPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação será disposta em quatro capítulos. Sendo os dois primeiros de componente teórica, em que o terceiro irá incidir num aspecto mais teórico-prático do projecto. A parte escrita desta dissertação encerrará com algumas considerações finais, que serão expostas de forma sucinta, no quarto e último capítulo.

O primeiro, e presente capítulo, procura demonstrar a premente necessidade das vias de comunicação e fazer uma ligeira referencia às problemática e complexidade actuais envolvidas no projecto das mesmas, expondo o objectivo desta dissertação.

O segundo capítulo terá como propósito apresentar o nó em diamante, referindo generalidades e particularidades do mesmo, de forma a proporcionar uma melhor compreensão da importância e funcionamento, dos nós de ligação em geral, e do nó em diamante, sobre o qual incide este projecto, em particular. Assim como se apresentarão com mais pormenor todos os factores condicionantes na elaboração dum projecto de vias de comunicação, particularmente, um nó de ligação.

Os dados de maior importância para o projecto, como coordenadas de eixos principais, serão apresentados no terceiro capítulo, juntamente com uma análise detalhada dos problemas enfrentados troço a troço. Serão também apresentadas figuras, com pormenores de desenho e soluções encontradas mediante o problema mais condicionante para cada situação, assim como tabelas, a representar valores de relevo, tanto para a planta como para a rasante de cada troço estudado.

Em anexo serão apresentadas todas as peças desenhadas que se consideram importantes para a execução e compreensão do projecto, assim como cálculos e figuras que elucidam processos utilizados para a elaboração deste projecto de execução geométrico.

2

CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1. NÓS DE LIGAÇÃO EM DETRIMENTO DE INTERSECÇÕES DE NÍVEL

2.1.1. INTERSECÇÕES DE NÍVEL

Dada a extensa rede de estradas existente, as intersecções de nível - área comum à intersecção de duas ou mais correntes de tráfego - são elemento frequente da sua constituição. No entanto, apesar da sua geometria ser obtida de forma semelhante ao restante da via e da predisposição do condutor a menores velocidades e maiores incómodos, a espera e a limitação da capacidade das vias são uma constante, assim como, também o são, as colisões entre viaturas. Esta perigosidade, existente nas intersecções de nível, é fruto directo do conflito de movimentos existentes no seu interior, não querendo de modo algum desculpar o comportamento possivelmente erróneo dos condutores.

Ao ter em conta o perigo patente aos cruzamentos de nível, torna-se necessário perceber e compreender os motivos da sua ocorrência.

Dentro de um cruzamento, os movimentos existentes, variam dentro de quatro tipos: divergentes, convergentes; viragens e atravessamentos. Para uma melhor compreensão do que consiste e provoca cada um, solicita-se a observação da figura 1, que representa todos os pontos de conflito - local onde uma corrente de tráfego sofrerá interferência de outra - possíveis para um cruzamento de 4 ramos.

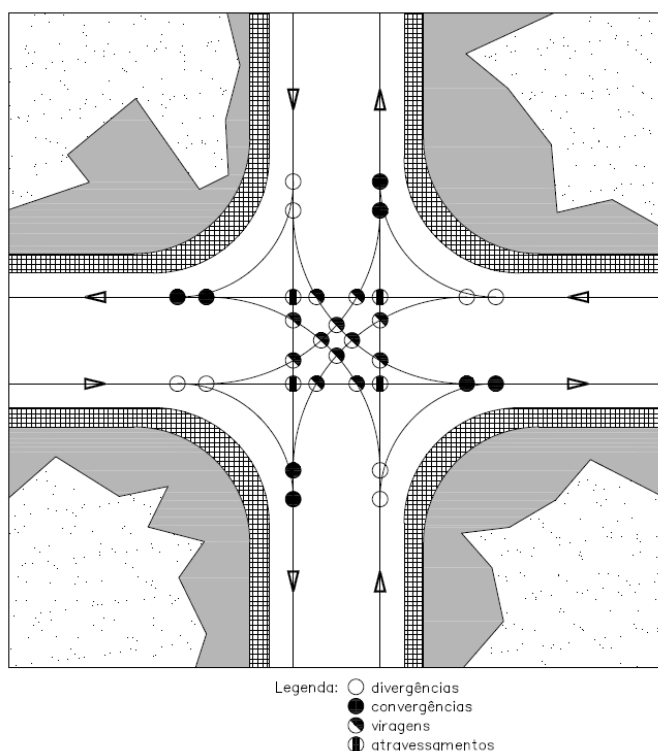


Fig.1 – Pontos de conflito num cruzamento de 4 ramos
(Adaptada de: Apontamentos de circulação e transportes 1 – Intersecções prioritárias)

Além dos possíveis movimentos, numa intersecção de nível, quanto maior a área pavimentada comum maior a área de conflito. Este tipo de situação vai, inevitavelmente, conduzir a maior confusão no interior do cruzamento e, consequentemente, aumentar a dificuldade em prever as rotas escolhidas pelos condutores. As características geométricas da intersecção são uma forma de atenuar os problemas resultantes do cruzamento de correntes de tráfego, em que a utilização de alguns elementos, como separadores, vias individualizadas para movimentos diferenciados, ilhas separadoras e direccionais, entre outros, conseguem diminuir a área de conflito e, consequentemente, melhorar a segurança da circulação automóvel no cruzamento. Ao visualizar a figura 2, é mais fácil compreender os benefícios provenientes da introdução de separadores.

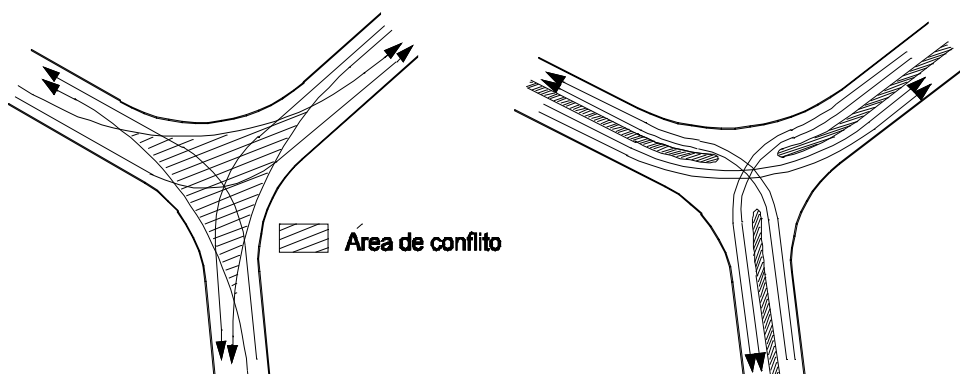


Fig.2 – Diminuição da área de conflito pela introdução de separadores
(Retirada de: Apontamentos de circulação e transportes 1 – Intersecções prioritárias)

Ao circular numa estrada nacional, independentemente da região ou local em que esta se situe, facilmente se constata que nem todos os cruzamentos são de quatro ramos, como o representado na figura 1. Dentro deste tipo de intersecções além do cruzamento directo, temos também o oblíquo. Contudo, além de cruzamentos de quatro ramos, podemos ter cruzamentos de três ramos, vários ramos e giratórios. Os cruzamentos de três ramos – utilizados na figura 2 para representar o benefício da utilização de separadores na diminuição da área de conflito - podem ser em “T”, ou em “V”, em que o primeiro é utilizado sempre que o ângulo entre o eixo principal das faixas de rodagem se encontrar num ângulo entre 80gr e 120gr e o segundo para ângulos fora desse limite.

Ao ter em conta todas as problemáticas envolvidas nas intersecções de nível, para que a sua concepção seja correcta, devem ser considerados factores ligados ao tráfego e à via, assim como, factores económicos e humanos, com o objectivo primordial de conciliar na sua transposição maior segurança, comodidade e eficácia.

2.1.2. NÓS DE LIGAÇÃO

Criados com o intuito de reduzir pontos de conflito, ou até mesmo os eliminar, aumentar a segurança e a capacidade, os nós de ligação são constituídos por vários ramos que efectuem a ligação entre estradas que se cruzam a diferentes níveis. Movimentos causadores de conflitos, como o atravessamento, são eliminados por completo em qualquer nó de ligação, enquanto que os provocados pelas viragens são reduzidos ao mínimo e localizados apenas na via secundária.

No entanto, apesar do incremento na segurança e comodidade para o condutor, este tipo de solução é mais dispendiosa que uma intersecção de nível e requer muito mais área. Esta, necessária para a implantação de um nó de ligação, deve-se, em grande parte, à necessidade de garantir a segurança do condutor, ao considerar as velocidades praticadas nos diferentes ramos de ligação. No entanto, não é, por si só, a área requerida para a sua implantação o motivo de despesa acrescida. A necessidade, frequente, em redefinir os troços de estrada envolventes é, de igual modo, ponto importante para o acréscimo do seu custo.

Aquando da decisão, pelo tipo de nó de ligação a colocar em determinado local, são ponderados vários factores, uns ligados ao tráfego, outros ao terreno e local de inserção. Consoante os ramos de ligação que o caracterizam, o nó de ligação, pode ser da família do trevo (meio-trevo incompleto, meio-trevo completo e trevo), do diamante e, no caso de nós de 3 ramos, do trompete.

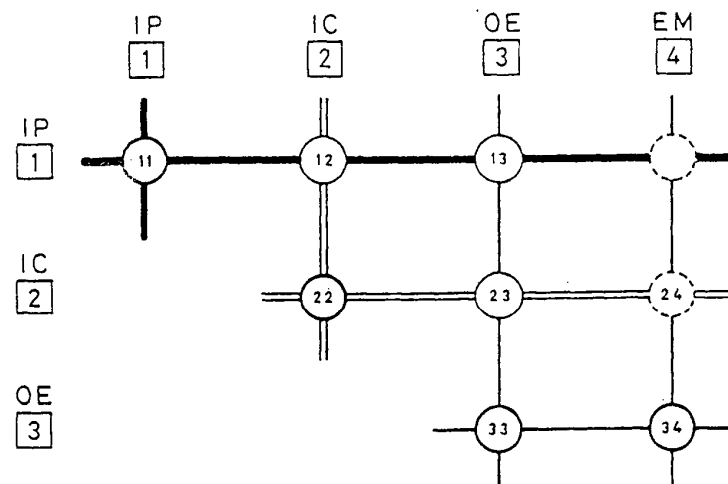


Fig.3 – Variante de um nó em trevo (googlemaps, 2010)

2.1.3. APLICABILIDADE

Ao considerar-se as particularidades, tanto de intersecções de nível como desniveladas, já mencionadas, se apenas tivéssemos em conta factores de segurança e comodidade, certamente, optaríamos sempre por nós de ligação. Já se o factor de maior peso fosse o custo seriam, sem menor dúvida, preferíveis as intersecções de nível.

Mas, como foi já mencionado, não podemos optar por soluções que pretiram a segurança ao custo ou vice-versa. Com este pressuposto, as normas da ex-JAE, definem - figura 4- o tipo de solução a adoptar, consoante a categoria das estradas que se intersectam. Deste modo, a opção nó de ligação, é apenas utilizada em casos restritos em que seja permitido, para determinada corrente de tráfego, velocidades elevadas, sendo caso imperativo para intersecções num itinerário principal, independentemente da estrada que o intersecta.



- — Ligação entre estradas da mesma categoria
- — Ligação entre estradas de diferente categoria
- — Ligação a evitar

IP - ITINERÁRIO PRINCIPAL - Rede fundamental
 IC - ITINERÁRIO COMPLEMENTAR } Rede complementar
 OE - OUTRAS ESTRADAS } REDE NACIONAL
 EM - ESTRADAS MUNICIPAIS

TIPO DE CRUZAMENTOS

TIPO	11	12	13	22	23	24	33	34
INTERSECÇÃO	-	-	-	-	(a) X	(a) X	X	X
NÓ DE LIGAÇÃO	X	X	X	X	X	X	-	-

(a) Quando o tráfego médio diário na estrada secundária for inferior a 1000 veículos no ano horizonte

Fig.4 – Solução a adoptar mediante a categoria das estradas que se intersectam segundo o PRN 2000
(Retirada de: Norma de Intersecções, JAE)

2.2. DIAMANTE E MEIO-TREVO INCOMPLETO. CONFRONTO DIRECTO.

De todos os nós de ligação existentes o nó em diamante é o mais simples. Composto por quatro ramos de ligação, todos eles com um bom traçado, proporciona a possibilidade de adaptação a diferentes volumes de tráfego, aspecto positivo ao ter em conta o baixo custo da sua construção.

A capacidade deste nó de ligação é dependente da capacidade das intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária, de modo que, para aumentar a sua capacidade, pode-se optar por aumentar o número de vias, tanto nos ramos de ligação, como na estrada secundária.

Existem várias variantes do nó em diamante; contudo é frequente optar pelo nó clássico - figura 5 -, pois permite definir convenientemente as vias de viragem à esquerda.

Quando alargado nos quatro quadrantes, muitas vezes devido à necessidade de alterar o perfil longitudinal da estrada secundária para que esta permita cumprir o “gabarit” mínimo na obra de arte, permite inclinações mais suaves nos ramos de ligação e maior capacidade junto às intersecções, além de tornar o nó mais flexível ao permitir, se necessário, a construção de ramos de ligação - “loops” - no seu interior. Embora neste caso tenha de deslocar muito os ramos directos das vias a ligar, perdendo-se a vantagem económica por grande gasto de espaço.

Sempre que a estrada secundária cruza a principal a um nível superior as vantagens são ainda maiores, ao permitir que os condutores tomem conhecimento da sua proximidade com maior antecedência, assim como, torna a saída e a entrada da estrada principal mais cómoda e segura, pois os ramos de ligação de entrada passam a ser em declive e os de saída em rampa, facilitando as variações de aceleração.



Fig.5 – Nó em diamante clássico (googlemaps, 2010)

No entanto, apesar de notáveis vantagens, a sua utilização apresenta um grande inconveniente, pois pode induzir em erro condutores mais distraídos, ao favorecer manobras erradas. Entre estas as mais graves são as entradas na principal em sentido contrário. Para combater este efeito usa-se, cada vez mais frequentemente, o diamante com rotundas na secundária.

O nó em meio-trevo incompleto – figura 6 – tem na sua composição dois ramos directos e dois “loops”. A sua implementação ocupa apenas dois dos quatro quadrantes existentes, levando a que não seja necessário expropriar os quadrantes excedentes. Esta propriedade, inerente a este tipo de nós, torna possível a sua completa melhoria, e leva a que a sinalização necessária seja inferior à dum nó em diamante.

Dependendo do quadrante em que se insere o ramo directo e o “loop”, a função que desempenham também pode divergir, pelo que poderão favorecer tanto a entrada como a saída na estrada principal. No nó apresentado na figura 6 os “loops” desempenham a função de acesso e os ramos directos de saída.



Fig.6 – Nó em meio-trevo incompleto (googlemaps, 2010)

A existência de “loops” implicará sempre o aumento do vão da obra e arte, o que torna a obra mais dispendiosa em relação ao diamante. Sempre que os “loops” desempenhem a função de saída da estrada principal transparece uma desvantagem da sua utilização, pois este tipo de saída pode provocar, com relativa facilidade, transtornos no tráfego que aí circule.

Contudo apresentam algumas semelhanças ao provocarem um elevado número de conflitos na via secundária, onde existem 4 viragens à esquerda, e não apresentarem entrecruzamentos, desde que os “loops” não estejam em quadrantes adjacentes.

No entanto, apesar das semelhanças e das vantagens que apresenta, aconselha-se a utilização do nó em diamante em lugar do meio-trevo incompleto, devendo a utilização deste último restringir-se a situações singulares.

2.3. NÓ EM DIAMANTE. CLÁSSICO OU ROTUNDAS.

A principal diferença, entre estes, é o modo como se intersectam com a estrada secundária, e todas as vantagens e desvantagens que daí derivam.

Num nó clássico, a intersecção entre os ramais de ligação e estrada secundária, é efectuada com recurso a cruzamentos de 4 ramos, enquanto que, como o próprio nome indica, num nó em diamante com rotundas - figura 7 - é efectuado com recurso a intersecções giratórias.

Ao recorrermos a cruzamentos de 4 ramos, a área despendida para a sua implantação é relativamente reduzida, no entanto, a vantagem dos veículos, que circulem na estrada secundária, não perderem prioridade, é contraposta pela existência de vários pontos de conflito, com realce para conflitos de atravessamento e viragem, causadores de acidentes graves. Dada a existência de tal quantidade de conflitos, a canalização de movimentos torna-se preponderante, de forma a isolar com clareza os conflitos existentes, expondo-se assim, o condutor, a um único conflito, facilitando a tomada de decisão.



Fig.7 – Nó em diamante com rotundas (googlemaps, 2010)

Já com intersecções giratórias, o número de conflitos existentes é reduzido para seis, sendo, todos eles, de entrecruzamento. Este incremento de segurança implica a perda de prioridade para os veículos que circulem na estrada secundária, pois aqueles que circulam no interior da rotunda é que possuem prioridade. Desta forma, a sua utilização deve-se restringir a situações em que exista semelhança no volume de tráfego proveniente dos vários ramos, assim como, os volumes de viragem à esquerda sejam, pelo menos, iguais aos que se cruzam, devendo existir sempre um mínimo de 4 ramos.

2.4. CONDICIONAMENTOS

Na procura da solução óptima, num projecto de vias de comunicação, a experiência do projectista é preponderante, ao moldar as características de determinado troço de estrada, solucionando problemas e sobrepondo condicionalismos, na procura da solução óptima. No entanto, nada impede a possibilidade de existirem soluções de diferentes características de igual valor. Este tipo de situação surge pelas variadas condicionantes impostas na elaboração do projecto, e pela forma como o projectista as encara.

Assim, ao ter em conta todas as variáveis, tanto impostas pelas normas, que restringe características da obra com o intuito de garantir comodidade e segurança, como pela natureza do terreno em que a obra se insere e pelo dono de obra, acaba-se por condicionar a escolha do traçado tanto em planta, como em perfil longitudinal.

2.4.1. NORMAS

Para a elaboração deste projecto foram utilizadas as normas da ex-JAE, relativas a traçado, intersecções, e nós de ligação, assim como, as normas espanholas, que foram utilizadas para definir vias de variação de velocidade.

Para melhor as compreender e utilizar, é necessário reter algumas noções básicas de velocidade base, velocidade de tráfego e velocidade específica. Pois serão utilizadas para o dimensionamento de elementos distintos.

A velocidade base, ou velocidade de projecto, é a velocidade máxima a garantir em pontos particulares do traçado com características geométricas mais fracas. Na realidade, excluídas as restrições climáticas mais adversas, é a velocidade mínima a garantir em todo o traçado. A velocidade de tráfego prevê-se ser a praticada por cerca de 85% dos condutores, estimando-se maior que a velocidade base num intervalo compreendido entre 12km/h e 20km/h. A velocidade específica, é a velocidade máxima que poderá ser obtida em segurança, dependendo das características da zona do traçado para o qual se calcula.

2.4.1.1. Normas do traçado

Pode-se dividir, a análise das normas do traçado, por condicionamentos a planta e a perfil longitudinal. No que respeita a planta, para extensões de alinhamentos rectos, as normas do traçado, indicam, para aqueles que possuam uma inclinação constante, que a sua extensão deverá encontrar-se no limite resultante da dupla inequação 1.

$$6 \times V_B \leq l \leq 20 \times V_B \quad (1)$$

Os raios a utilizar em planta, também não são de livre arbítrio, sendo impostos raios mínimos absolutos e raios mínimos normais, em que, os primeiros, apenas deverão ser utilizados em circunstâncias especiais. Os valores, dos raios, são indicados em função da velocidade base definida para o troço a projectar - quadros 1 e 2 -, pelo que o seu cálculo, além de entrar a com a velocidade base, entra também em conta com outras características do traçado, tais como a sobrelevação e o factor de aderência transversal.

Quadro 1 – Raios mínimos absolutos

V _b (km/h)	R.A.(m) (Se=7%)
40	55
50	85
60	130
70	180
80	240
90	320
100	420
110	560
120	700
130	900
140	1000

Quadro 2 – Raios mínimos normais

V _b (km/h)	R.N.(m)
40	110
50	180
60	250
70	350
80	450
90	550
100	700
110	850
120	1000
130	1200
140	1400

A sobrelevação, cujos valores – quadro 3 -são também definidos pelas normas de traçado, para além de diminuir a aceleração centrífuga e facilitar a percepção da curva por parte do condutor, facilita a drenagem da faixa de rodagem, permitindo uma melhor aderência. Torna-se um elemento relevante no que respeita a garantir segurança e comodidade.

Quadro 3 – Sobreelevação em curva circular

Estrada com 2 vias		Estrada com vias múltiplas	
R(m)	Se(%)	R(m)	Se(%)
<450	7	<900	7
525	6,5	1100	6,5
600	6	1300	6
700	5,5	1500	5,5
850	5	1750	5
1000	4,5	2000	4,5
1200	4	2250	4
1400	3,5	2600	3,5
1600	3	3000	3
1900<R<2500	2,5	3500<R<5000	2,5
>2500	---	>5000	---

Ainda em zona de curva circular, além do valor do raio a utilizar e da sobreelevação, as normas indicam também valores para a sobrelargura, elemento importante para a transposição da curva, por veículos longos, de forma segura. O seu valor pode ser obtido a partir da equação 2. Porém, para raios de valor inferior a 200m, deve ser ignorada, devido à insignificância do seu valor.

$$Sl = \frac{80}{R} \quad (2)$$

Vai já desde 1944 que as normas da ex-JAE exigem o emprego de curvas de transição entre alinhamento recto e curva circular. Dentro de quatro critérios que deverão ser cumpridos, são utilizadas várias variáveis na sua determinação. Estes critérios levam em conta comodidade e segurança, disfarces inteligentes da sobrelargura e da sobreelevação, e capacidade de proporcionar, aos condutores, qualidade óptica e estética da estrada. No entanto, por vezes não é possível cumprir o critério de disfarce de sobreelevação, pelo que terá de ser indicada a existência duma quebra de inclinação.

Além das restrições impostas, ao traçado, no que respeita à sua planta, também as existem para a rasante. As Normas de Traçado definem inclinações máximas e mínimas, assim como extensões máximas, para os traineis. As inclinações e extensões máximas – quadros 4 e 5 - estão relacionadas com as velocidades e acelerações que os veículos podem atingir juntamente com a capacidade de as manter ao longo do trainel, de forma que, para a sua determinação, são sobretudo tomados em consideração os veículos pesados. As inclinações mínimas devem-se à necessidade de garantir o escoamento de águas pluviais. Pelo que, em trainel, não deverá ter uma inclinação inferior a 0,5% e, em zona de curva, deverá respeitar a equação (3).

Quadro 4 – Inclinação máxima dos traneis

V_b (km/h)	$i_{m\acute{a}x}$ (%)
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4
140	3

Quadro 5 – Extensão crítica dos traneis

i tranel (%)	ext crit (m)
3	420
4	300
5	230
6	180
7	150
8	120

$$i \geq 0,5\% + \Delta i_e \quad (3)$$

Para as concordâncias verticais, as normas definem valores mínimos, tanto para o raio, como para o seu desenvolvimento. Seja côncava ou convexa, a concordância a dimensionar, os valores mínimos - quadros 6, 7, 8 e 9 -, para ela definidos, foram calculados de forma a assegurar distâncias de visibilidade que garantam segurança e comodidade.

Quadro 6 – Raios mínimos em concordâncias convexas

V (km/h)	Raio mínimo	
	Absoluto (m)	Normal (m)
40	1500	1500
50	1500	2100
60	2000	3000
70	3000	4200
80	5000	6000
90	7500	8500
100	9000	12500
110	12000	13000
120	14000	16000
130	20000	20000

Quadro 7 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias convexas

V (km/h)	Desenvolvimento mínimo	
	Absoluto (m)	Normal (m)
40	40	60
50	50	60
60	60	120
70	70	120
80	80	120
90	90	120
100	100	120
110	110	120
120	120	120
140	140	140

Quadro 8 – Raios mínimos em concordâncias côncavas

V (km/h)	R _{min} (m)
40	800
50	1200
60	1600
70	2500
80	3500
90	4500
100	5500
110	6000
120	7000
140	8000

Quadro 9 – Desenvolvimentos mínimos em concordâncias côncavas

V _b (Km/h)	D _{min} (m)
40	60
50	60
60	120
70	120
80	120
90	120
100	120
110	120
120	120
140	140

2.4.1.2. Norma de intersecções

Estas normas, surgem para regularizar a concepção geométrica de todo o tipo de intersecções de nível, com o intuito de melhorar a sua segurança, nunca esquecendo as características que o condutor espera, sempre, que estas tenham.

Dada a existência de várias particularidades, a depender do tipo de intersecção e do tráfego que nela circula, será feita referência a alguns condicionamentos globais, atentando-se depois sobre a intersecção giratória, dada a sua importância para este projecto.

Globalmente, a norma de intersecções aconselha a, sempre que possível, que a intersecção se localize “em alinhamentos rectos cujos traneis tenham inclinação inferior a 3%”, devendo o seu traçado ser o mais simples possível sendo apenas utilizados elementos, como ilhas e separadores, estritamente necessários, garantindo quase sempre prioridade para as correntes de tráfego de maior intensidade.

No que respeita a intersecções giratórias, esta aconselha a sua utilização apenas em determinadas condições, recomendando uma sobrelevação de $\pm 2,5\%$, com uma ilha central preferencialmente circular, de raio nunca superior a 50m, cujo valor se deve encontrar entre os 15m e os 30m.

As entradas e saídas são dimensionadas de forma a facilitar uma saída rápida e proporcionar uma entrada cautelosa. Desta forma, a via de entrada deverá ter uma largura de 4m e um raio de 20m, e a de saída uma largura de 5m e um raio de 40m. No que respeita às larguras da via, seja a de entrada ou de saída, não devem ser alteradas, no entanto os seus raios podem ser inferiores sempre que realmente necessário, sendo única condicionante que o raio de saída seja sempre superior ao de entrada.

A faixa de rodagem deverá ter no mínimo 8m, permitindo a existência de 2 vias. O ângulo de inserção dos ramos na rotunda deverá respeitar os valores normalizados, aconselhando-se, para uma melhor percepção do seu correcto dimensionamento, a visualização da figura 8.

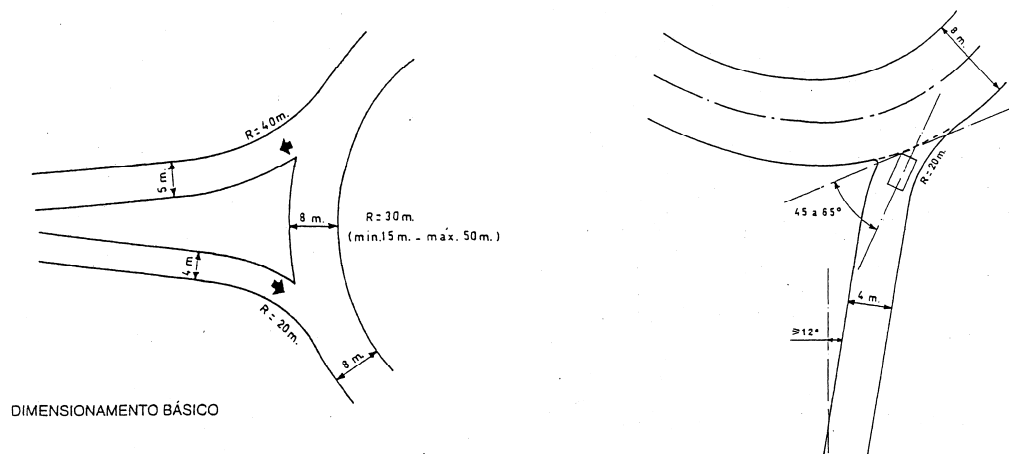


Fig.8 – Dimensionamento básico de rotundas
(Retirada de: Norma de Intersecções, JAE)

2.4.1.3. Norma de nós de ligação

A norma de nós de ligação, tal como as restantes, continua a restringir a geometria do traçado. Neste caso, torna-se perceptível que esta será destinada aos ramos que constituem o nó. Porém, de modo a não alongar a análise, apenas serão mencionadas algumas das situações que restringem o dimensionamento.

A percepção do condutor da existência dum nó de ligação, é um dos factores condicionantes, em que a distância de visibilidade de decisão - quadro 10 - é fornecida, em função da velocidade base estabelecida para a estrada principal.

Quadro 10 – Distância de visibilidade de decisão

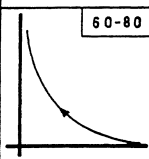
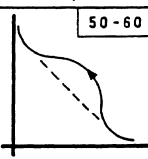
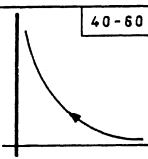
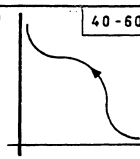
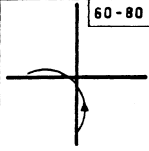
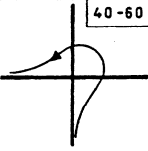
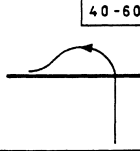
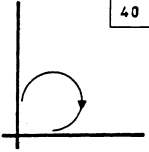

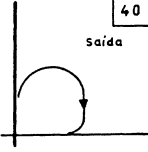
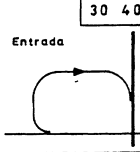

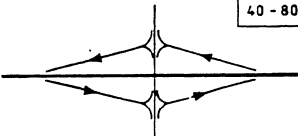
V_b (km/h)	Dist. Vis. (m)
100	330
110	370
120	400

A sobrelevação em ramos de ligação, pode, em casos extremos, atingir valores de 12%, devendo ser sempre tomado em consideração as características climáticas do local de inserção, pelo que, sempre que for possível a formação de gelo na via, o valor da sobrelevação não deverá ser superior a 8%. Os valores recomendados pela norma de nós de ligação - quadro 11 - variam consoante o raio das curvas existentes no ramo de ligação e da velocidade base para a qual este é projectado.

Quadro 11 – Sobrelevação dos ramos de ligação

Raio (m)	V_b (Km/h)						
	30	35	40	45	50	55	60
25-30	2-12	-	-	-	-	-	-
35-40	2-10	3-12	-	-	-	-	-
45-50	2-8	3-10	4-12	-	-	-	-
60	2-6	3-8	4-9	6-12	-	-	-
75	2-5	3-6	3-7	5-9	7-12	-	-
90	2-4	3-5	3-6	4-7	5-9	8-12	-
120	2-3	2-4	3-5	3-6	4-7	6-9	8-12
150	2-3	2-3	3-4	3-5	4-6	6-8	7-10
175	2-3	2-3	2-4	3-4	3-5	5-7	6-8
250	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	5-6	5-7
300	2-3	2-3	2-3	2-3	3-4	4-5	4-6

Um dos passos mais importantes, para dar início à projecção dum nó de ligação, consiste em decidir qual a velocidade a adoptar para os diferentes ramos de ligação que compõem determinado nó. A norma de nós de ligação, tal como se pode observar na figura 9, aconselha valores de velocidade base dentro de determinados intervalos, dependendo do tipo de nó que se deseja projectar e dos ramos que o constituem.

RAMOS DE LIGAÇÃO	LIGAÇÕES ENTRE AUTO-ESTRADAS		LIGAÇÕES ENTRE OUTRAS ESTRADAS *	
	TRAÇADO			
	Normal	Adaptado	Normal	Adaptado
DIRECTO				
SEMIDIRECTO			—	
INDIRECTO				
(DIRECTO)	 VIAS C - D			

* - Podendo uma delas ser auto-estrada

Fig.9 – Velocidade base para ramos de ligação
(Retirada de: Norma de Nós de Ligação, JAE)

A variação da sobrelevação, dada a sua importância para a comodidade e segurança do condutor, é também mencionada nesta norma, a qual indica valores de variação máxima recomendada - quadro 12 -. O seu cumprimento leva por vezes à necessidade de maiores curvas de transição que sejam capazes de suportar a variação exigida, o que, por vezes, implica que os ramos de ligação se alonguem.

Quadro 12 – Transição da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação

V_b (km/h)	$\Delta Se / 20m$ (%)
25 a 30	5,3
40	4,7
50	4
>60	3,3

As bermas existentes num ramo de ligação, deverão ser de 2,5m à direita e de 1m à esquerda, com excepção para casos de ramos com duas vias, em que ambas as bermas terão 1m, situação obrigatória para aqueles cuja extensão seja superior a 300m.

A sobrelargura nos ramos de ligação – quadro 13-, tendo em conta que estes são dimensionados a pensar em veículos articulados, apenas deverá existir para curvas de raios inferiores a 90m.

Quadro 13 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação

R (m)	Sl(m)	L _t (m)
35	2,00	6,00
45	1,25	5,25
55	1,00	5,00
65	0,60	4,60
75	0,30	4,30
90	0,00	4,00

2.4.1.4. Normas Espanholas

As normas espanholas, nesta dissertação, foram apenas utilizados para determinação dos comprimentos das vias de variação de velocidade, nomeadamente as vias de aceleração. A sua utilização, apesar de, em geral, não condicionar o traçado, pois localiza-se sempre paralelamente à estrada principal, pode, por vezes, conduzir a valores de extensão, das vias de variação de velocidade, relativamente elevados, o que implica um acréscimo do custo da obra.

2.4.2. CARACTERÍSTICAS DO TERRENO

Apesar de, na escolha do traçado, se tentar evitar terrenos que possam proporcionar demasiadas complicações, vão sempre existir situações que o condicionem. A topografia do terreno é, sem qualquer dúvida, factor condicionante na escolha do traçado, pois, de forma a diminuir o custo da obra e o seu impacto na envolvente, o projectista deverá, dentro do possível, tentar acompanhar a configuração do terreno, na procura duma solução capaz de compensar volumes de escavação, com os necessários para aterro.

As características hidrológicas, não tanto em planta como em perfil longitudinal, também são um entrave na escolha de traçado. Por cada linha de água sobreposta pela estrada é necessário criar uma passagem de hidráulica. Estas passagens hidráulicas necessitam de se encontrar com, pelo menos, um diâmetro de terraplanagem acima da sua geratriz superior, no caso de obras de betão pré-fabricado (o mais frequente).

Um dos factores que mais condiciona a escolha do traçado em planta é a ocupação do solo. É frequente ser necessário evitar construções existentes, numa procura de soluções capazes de as contornar sem as prejudicar. Isto agrava-se em zonas de construção aleatória e desordenada, ao ser, por vezes, necessário demolir algumas construções em detrimento duma estrada sinuosa. No entanto, a ocupação do solo também condiciona o traçado a nível do seu perfil longitudinal, sendo que, em situações de intersecções com outras estradas, sejam de nível ou desniveladas, ou a sua sobreposição, qualquer destas situações poderá obrigar a uma descida ou subida da rasante.

3

DETALHES DE PROJECTO
CÁLCULOS E RESULTADOS

3.1. ENQUADRAMENTO

Em projectos de vias de comunicação, sempre que é necessário proceder à ligação entre duas estradas importa fazer opções, em função do tráfego e das características, tanto da estrada principal como da secundária, que poderão ainda ser seriamente condicionadas pelo terreno escolhido para a implantação da obra.

Porém, a localização e a tipologia do nó de ligação é um dado previamente fornecido para a realização desta dissertação, pelo que não foi necessário ponderar sobre o local mais favorável para a sua construção.

Contudo, torna-se necessário salientar que todas as decisões tomadas são desprovidas de qualquer tipo de conhecimento sobre o tráfego existente, pelo que a redução de custos da obra torna-se factor primordial.

O local escolhido para a construção do nó em diamante com rotundas na secundária, representado na figura 10, é, por suposição do autor, em zona rural. O terreno é, aparentemente, de utilização agrícola, contendo na sua constituição algumas construções dispersas que, num primeiro olhar, se poderiam considerar praticamente inexistentes.

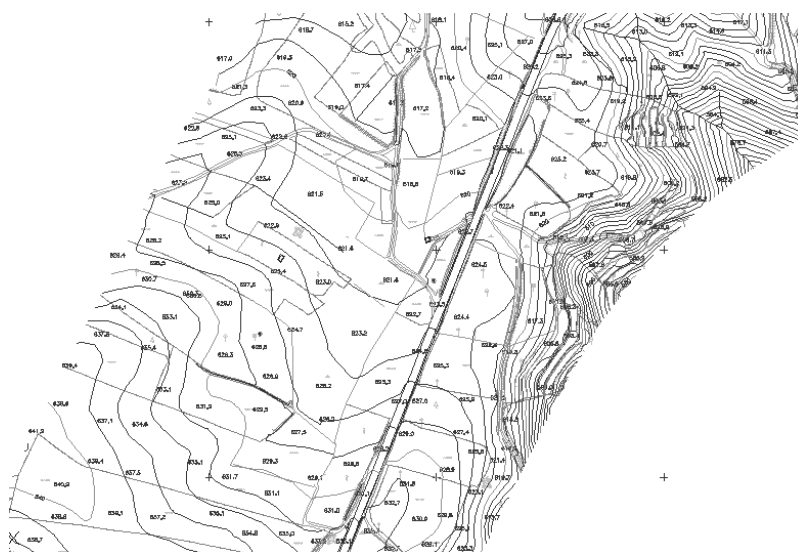


Fig.10 – Planta com topografia do terreno

A estrada principal, cujo eixo está representado pela linha de maior espessura - figura 11 -, vai provocar, após a sua construção, o corte da estrada secundária. Este corte vai implicar que se efectue um restabelecimento de modo a dar-lhe continuidade, efectuando-se a ligação desta a um caminho situado a norte da estrada principal, como se poderá observar em 3.2.2. Por imposição do D.O., este restabelecimento, passará sob a estrada principal provocando uma intersecção desnivelada, encontrando-se representado na figura 11, a traço ponto, parte do eixo do restabelecimento.

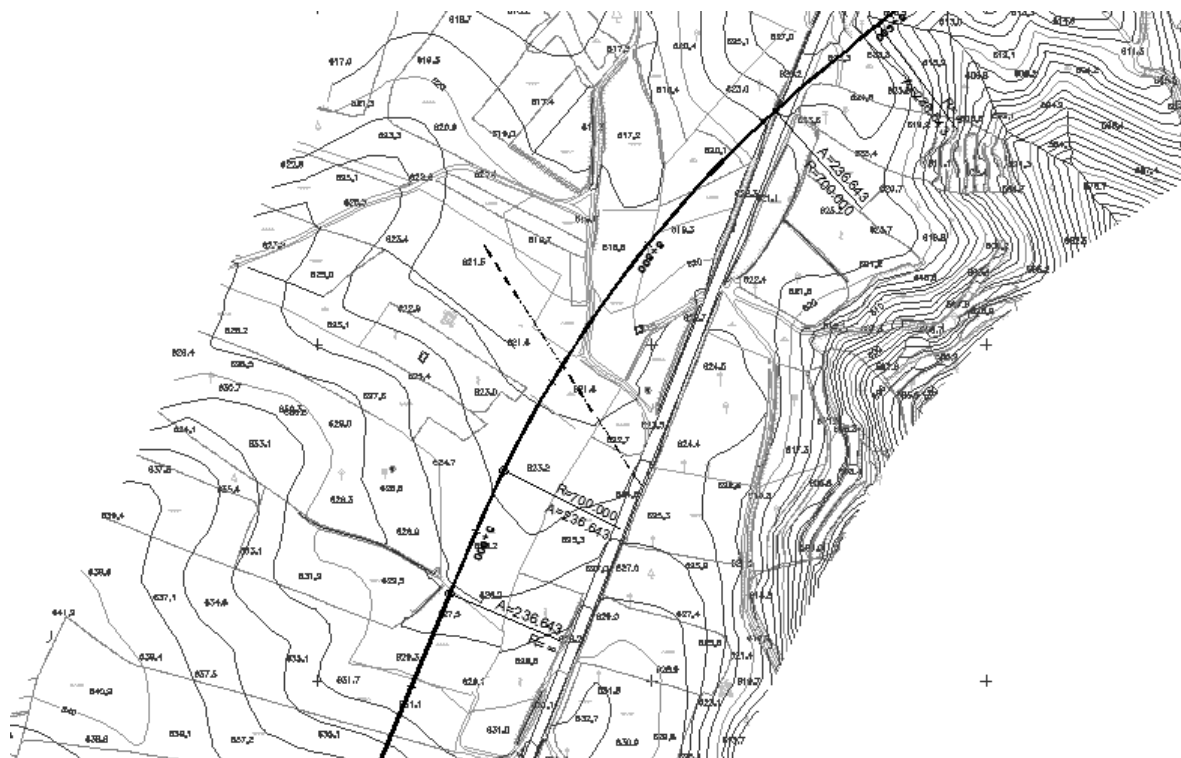


Fig.11 – Eixos da Estrada Principal e Restabelecimento

Torna-se, então, possível afirmar que o nó em diamante será construído em redor da intersecção destes dois eixos.

3.2 ROTUNDAS

Como elemento de intersecção, entre ramos de ligação e estrada secundária, a sua localização vai desempenhar um papel determinante no dimensionamento do nó em diamante, apesar de ser possível durante o decorrer e evoluir do projecto, que a sua localização possa ser alterada em função de uma melhor solução.

Contudo, como ponto de partida, optou-se por colocar ambas as rotundas no prolongamento do alinhamento recto, que passa sob a estrada principal e pertencerá ao restabelecimento, estipulando um afastamento mínimo da estrada principal que pudesse garantir a realização e ligação dos ramos à rotunda. Tentou-se conjugar, a premissa anterior, com terreno o mais regular possível.

As rotundas dimensionadas neste projecto têm várias características comuns. Além do raio da ilha central ser de 15m, existem outras semelhanças como a largura das vias de entrada e saída, pré-definidas pela norma de intersecções, assim como uma faixa, para duas vias, com 8m, em que a sobrelevação para toda ela será de 2,5%, permitindo a drenagem para o exterior. Além das características mencionadas para a sua planta, em perfil longitudinal, todas as concordâncias utilizadas para a ligação dos traineis, têm raios de 600m.

3.2.1. ROTUNDA A

A rotunda A, localizada a sul da estrada principal, foi inicialmente situada no ponto de intersecção entre o eixo do restabelecimento, previamente definido, com uma linha que se aproximaria do eixo da estrada secundária ali existente. Esta opção foi efectuada com o intuito de aproveitar o máximo de traçado já existente ao tentar efectuar o mínimo de alterações, assim como, de forma a garantir um afastamento da E.P. que permitisse o dimensionamento dos ramos de ligação.

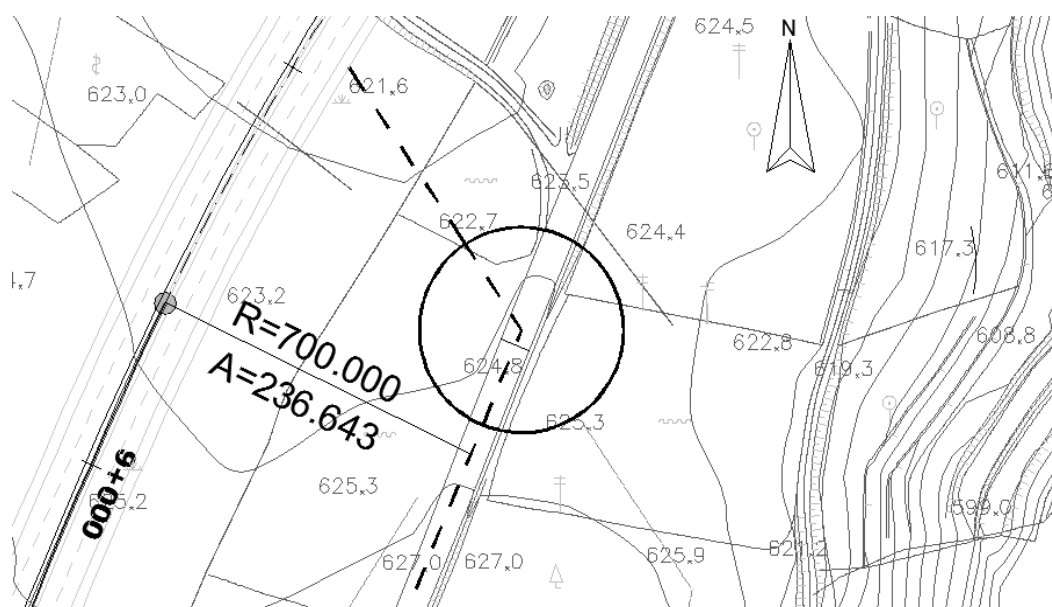


Fig.12 – Centro Rotunda A

Para definição da equação da rotunda, é necessário indicar as coordenadas – quadro 14 - do seu ponto inicial, coincidente com o final, e do centro da rotunda, assim como dos pontos notáveis nela existentes, se for o caso. Ao tratar-se duma rotunda circular, a equação que a define é bastante simples, tal como se pode observar na equação 4

$$(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2 = R^2 \quad (4)$$

Quadro 14 – Coordenadas Rotunda A

Rotunda A			
Ponto	[m]	M	P
I	0+000,00	89814,899	194918,912
F	0+144,51		
CR		89791,899	194918,912

Legenda: I – Início

F – Fim

CR – Centro rotunda

A definição da sua rasante tenta acompanhar da melhor forma o terreno, de modo a diminuir o custo da obra. Assim, cumprindo o exigido pelas normas, nesta rotunda, o trainel ascendente tem 4% de inclinação e o descendente 3%.

Contudo, apesar da tentativa de acompanhar o terreno e minimizar o movimento de terras, é perceptível, ao observar a figura 13, que toda a rotunda se encontrará em escavação. O motivo de tal ocorrência será referido em 3.3.2.. Antecipa-se, no entanto, e desde já que a drenagem irá ser dificultada.

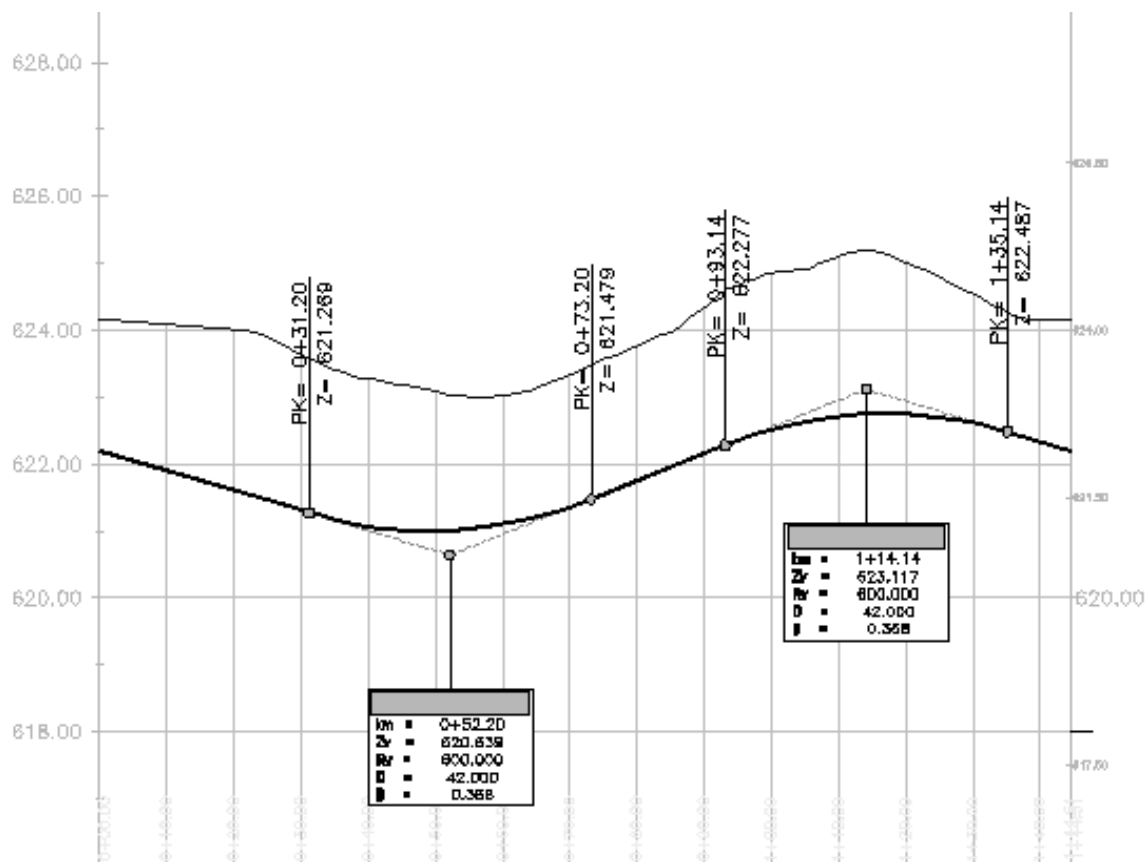


Fig.13 – Rasante Rotunda A

Os raios de entrada e saída na rotunda, assim como a largura das vias, encontram-se de acordo com as normas. Contudo, a figura 14 proporciona uma melhor percepção das escolhas tomadas no seu dimensionamento. Porém, dada a proximidade de algumas vias, a utilização dos raios, de entrada e saída, aconselhados não se tornou viável.

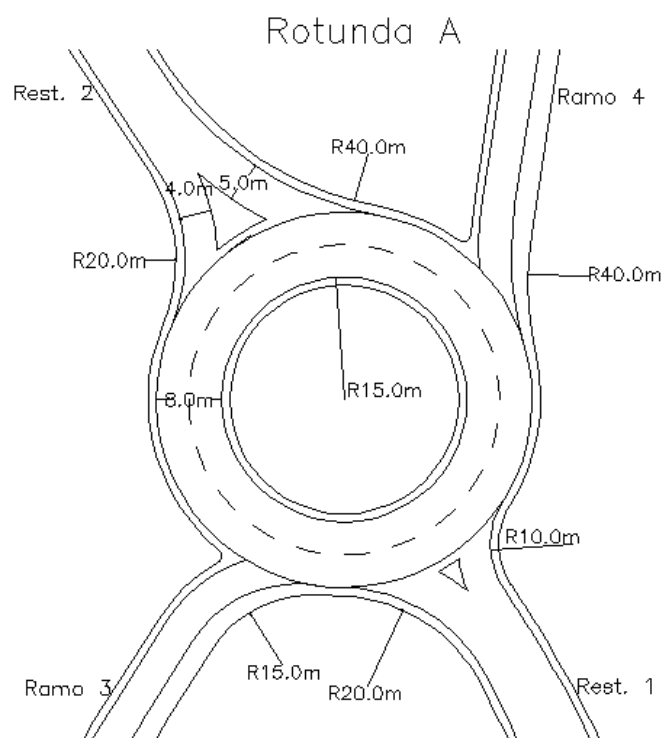


Fig.14 – Dimensionamento Planta Rotunda A

3.2.2. ROTUNDA B

A rotunda B, situada a norte da estrada principal, foi, à semelhança da rotunda A, localizada com o propósito de diminuir ao máximo as alterações do traçado existente. Apesar do restabelecimento ligar a estrada, àquilo que se assemelha a um caminho, que necessitará obrigatoriamente de alargamento de faixa, o centro da rotunda foi escolhido a partir do ponto de intersecção entre o eixo inicialmente fornecido para o restabelecimento com o eixo do caminho existente, ou, pelo menos, com uma aproximação ao que poderia ser esse eixo, tendo em conta que não foi um dado fornecido. No entanto, para uma melhor percepção das considerações tomadas na localização do centro da rotunda B, aconselha-se a observação da figura 15.

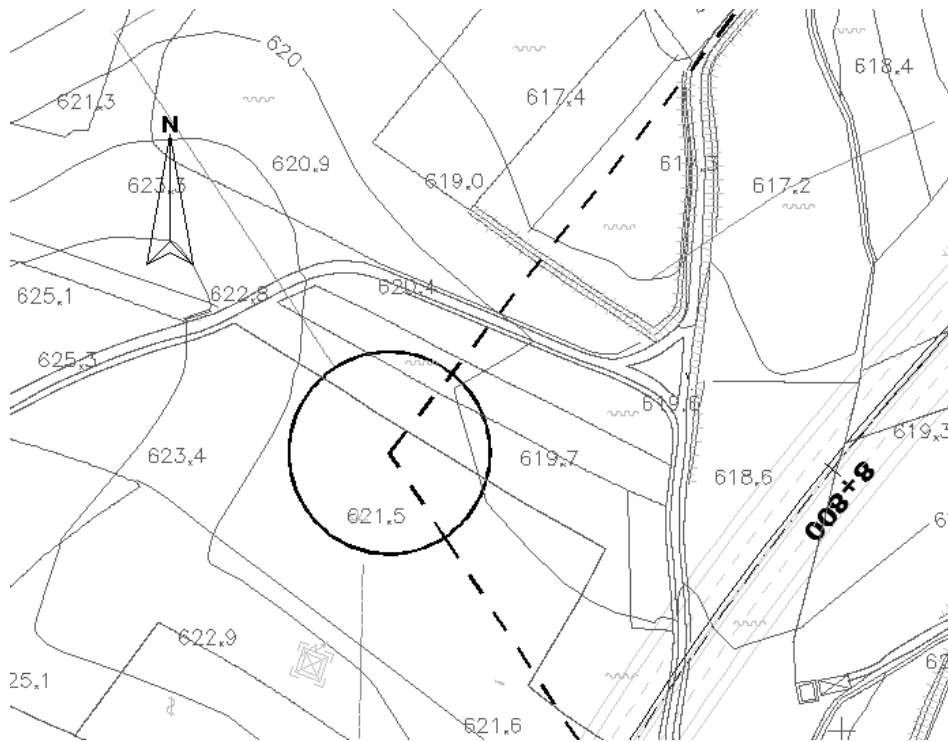


Fig.15 – Centro Rotunda B

No quadro 15 são fornecidas as coordenadas necessárias para obter qualquer ponto pertencente à rotunda, valores que, como referido em 3.2.1., poderão ser obtidos a partir da equação 4.

Quadro 15 – Coordenadas Rotunda B

Rotunda B			
Ponto	[m]	M	P
I	0+000,00	89719,485	195063,277
F	0+144,51		
CR		89696,485	195063,277

Legenda: I – Início

F – Fim

CR – Centro rotunda

Ao ter baixado as cotas da rotunda A, o que obrigou a que toda ela ficasse em escavação, tornou-se possível que a rasante da rotunda B - figura 16 - acompanhasse melhor o terreno. Deste modo, ao optar por rampas de 4% de inclinação e declives de 2%, minimizou-se em muito o movimento de terras.

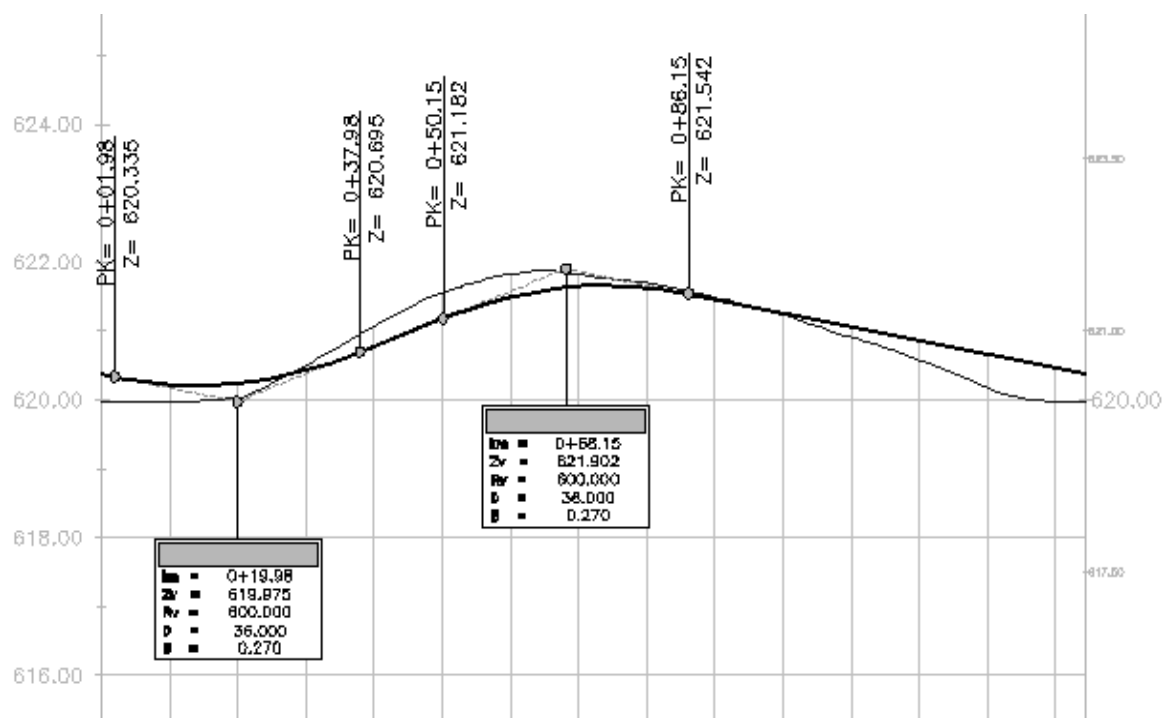


Fig.16 – Rasante Rotunda B

Na figura 17 é possível observar as opções tomadas no seu dimensionamento em planta, em que, ao contrário do que sucedido para a rotunda A, foi possível utilizar os raios aconselhados pelas normas.

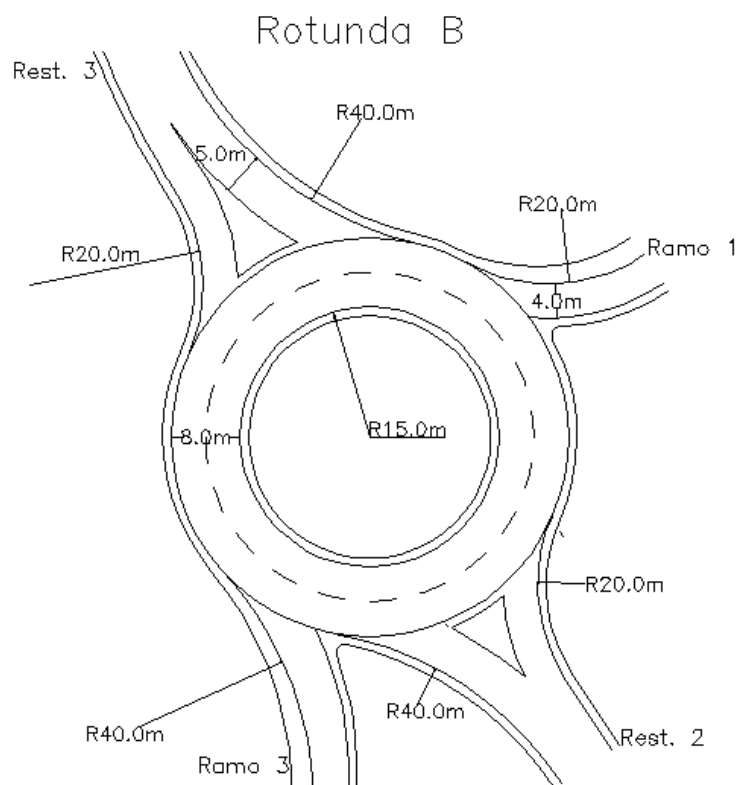


Fig.17 – Dimensionamento Planta Rotunda B

3.3 RESTABELECIMENTO

Ao contrário do que se possa pensar, o restabelecimento, não é simplesmente uma estrada secundária, mas sim a definição de um novo traçado para uma estrada já existente, cuja continuidade é interrompida pela sobreposição duma outra de maior relevância. Contudo a sua geometria deverá ser de maior simplicidade, sem preterir nunca da comodidade e da segurança.

A análise do restabelecimento será efectuada em três partes, em que cada parte focar-se-á sobre um troço da sua composição.

Este restabelecimento foi inicialmente pensado sem a existência de rotundas. No entanto, com a premente necessidade de colocação daquele tipo de intersecção, tal solução deixou de ser viável e funcional.

Como características comuns aos três troços que compõem este restabelecimento temos a V_b de 40km/h, e as dimensões das vias e bermas, de 3,5m e 1m, respectivamente.

3.3.1. RESTABELECIMENTO 1

Este troço, situado a sul da estrada principal, é, tal como se pode observar na figura 18, composto por 3 curvas. O terreno a nascente do troço em análise, foi uma condicionante preponderante na escolha da sua geometria. Por ser extremamente acidentado, era importante evitá-lo. As duas curvas consecutivas efectuadas no mesmo sentido, curvas 2 e 3, surgem de forma a evitar esse terreno de declive mais acentuado.

Ao contrário do inicialmente idealizado, será necessário alterar em muito a geometria da estrada existente, tanto em planta como em perfil longitudinal. A alteração em planta torna-se necessária devido a geometria do Ramo 3, que será devidamente referido em 3.4.3., a qual ao ocupar aquilo que seria a zona de inserção na Rotunda A por parte do Restabelecimento 1 obriga a uma redefinição da geometria deste troço. Em rasante, a diferença de cotas entre a solução idealizada e a obtida, deve-se à necessidade que surgiu de colocar a rotunda A em escavação.

Ultrapassadas as dificuldades, apresentam-se no quadro 16, as coordenadas que permitem definir este troço, em que sua extensão cresce com a aproximação à rotunda A e à estrada principal.

Quadro 16 – Coordenadas Restabelecimento 1

Restabelecimento 1				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I	0+000,00	89650,329	194563,609	Alinhamento recto
TS	0+113,68	89692,409	194669,217	Curva
SC	0+143,91	89705,560	194696,365	
CCC		89763,527	194657,125	
CS	0+156,84	89713,751	194706,343	
ST	0+187,07	89737,820	194724,528	
TS	0+230,95	89774,643	194748,397	Curva
SC	0+261,18	89798,711	194766,582	
CCC		89748,935	194815,8	
CS	0+286,24	89812,801	194787,145	
ST	0+316,47	89821,073	194816,155	
TS	0+317,48	89821,280	194817,144	Curva
SC	0+347,71	89825,307	194847,040	
CCC		89755,31	194846,333	
CS	0+372,77	89820,821	194871,526	
ST	0+403,00	89805,840	194897,819	
F	0+405,28	89804,581	194899,724	

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC - Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS - Osculação curva circular - clotóide

ST - Osculação clotóide - alinhamento recto

F – Fim

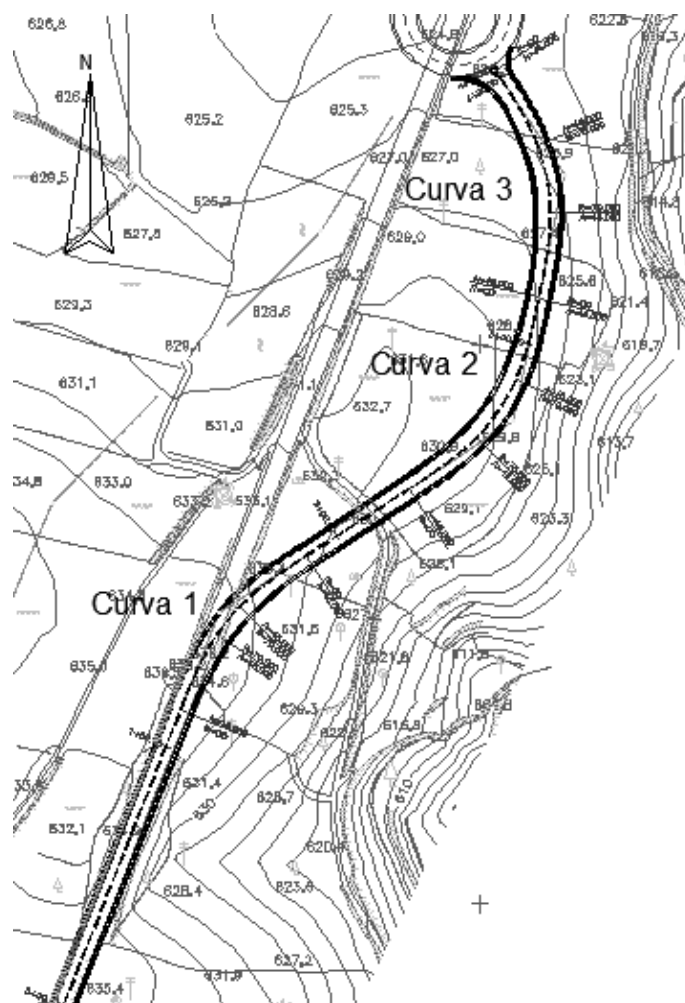


Fig.18 – Planta Restabelecimento 1

De forma a atingir a solução, representada na figura 18, efectuaram-se estudos para cada curva pertencente ao troço na procura da melhor solução. Este encontra-se representado no quadro 17; contudo, por mera casualidade, foram obtidas curvas com valores, de raio e parâmetro A da clotóide, iguais.

Quadro 17 – Estudo de curvas para o Restabelecimento 1

Curva 1		Curva 2		Curva 3	
R (m)	70	R (m)	70	R (m)	70
A (m)	46	A (m)	46	A (m)	46
ΔR (m)	0,544	ΔR (m)	0,544	ΔR (m)	0,544
L (m)	30,229	L (m)	30,229	L (m)	30,229
Ω (rad)	0,617	Ω (rad)	0,79	Ω (rad)	0,79
$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,216	$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,216	$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,216
SI (m)	1,143	SI (m)	1,143	SI (m)	1,143

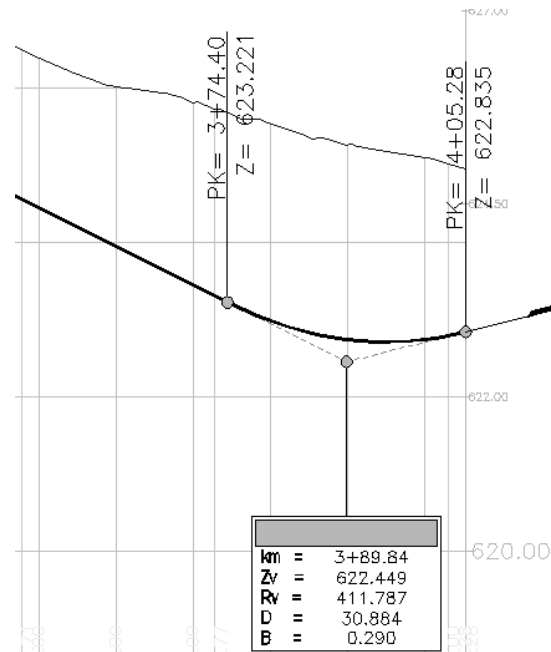


Fig.20 – Pormenor da convergência à rotunda A da rasante do Restabelecimento 1

Pela mesma razão a inclinação transversal da faixa de rodagem do restabelecimento deverá coincidir com a inclinação longitudinal da rotunda.

O valor desta sobrelevação é facilmente obtido quando a intersecção entre eixos se dá num trainel da rotunda. Porém, quando em concordância, torna-se necessário a derivação da equação que define a concordância, de modo a obter a inclinação da tangente a esse ponto. Esta situação ocorre para o restabelecimento 1, tal como se elucida na figura 21, em que se representa o ponto de intersecção do eixo deste troço do restabelecimento com a rasante da rotunda A.

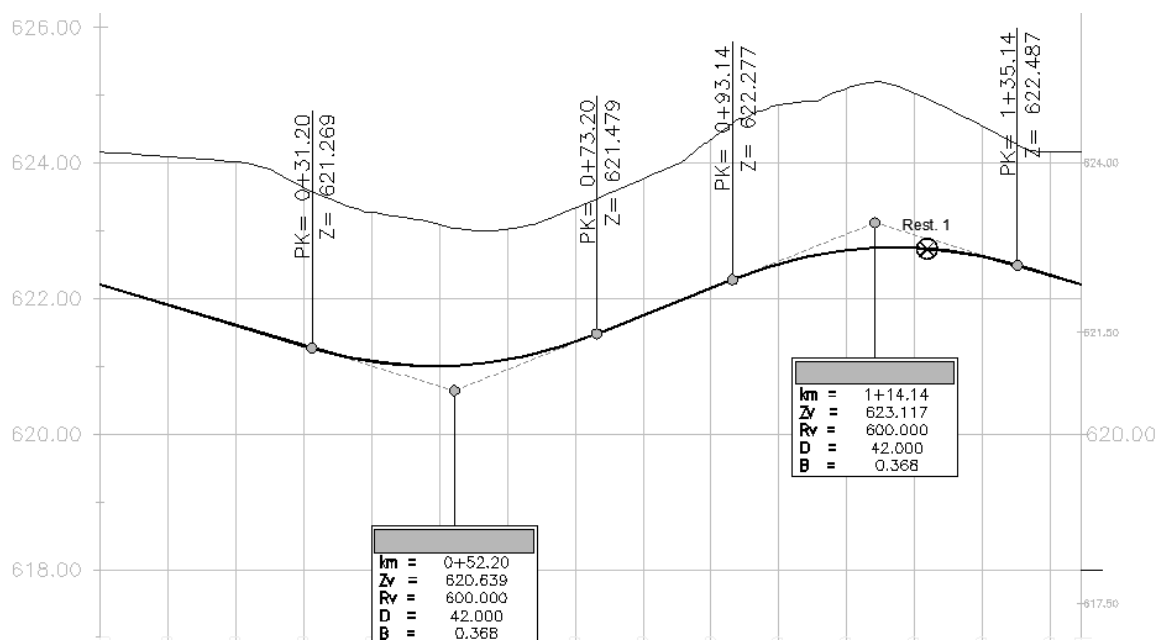


Fig.21 – Ponto de intersecção entre Restabelecimento 1 e Rotunda A

No entanto, este processo de determinação da sobrelevação é claramente impreciso, quando se tem em conta que apenas sabemos a sobrelevação num ponto e que a largura mínima duma via em intersecções giratórias é de 4m. Contudo, os resultados obtidos são satisfatórios, e, dadas as baixas velocidades praticadas, tanto na aproximação à rotunda como na saída da mesma, o condutor não é submetido a qualquer perigo ou incomodidade.

3.3.2. RESTABELECIMENTO 2

O segundo troço deste restabelecimento efectua a ligação entre as rotundas A e B, passando sob a estrada principal com o recurso a uma O.A., tal como se pode observar na figura 22, recorrendo unicamente a um alinhamento recto. As coordenadas necessárias para o definir são apresentadas no quadro 18.

Quadro 18 – Coordenadas Restabelecimento 2

Restabelecimento 2				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I	0+000,00	89779,218	194938,100	Alinhamento recto
F	0+127,05	89709,166	195044,089	

Legenda: I – Início
F – Fim

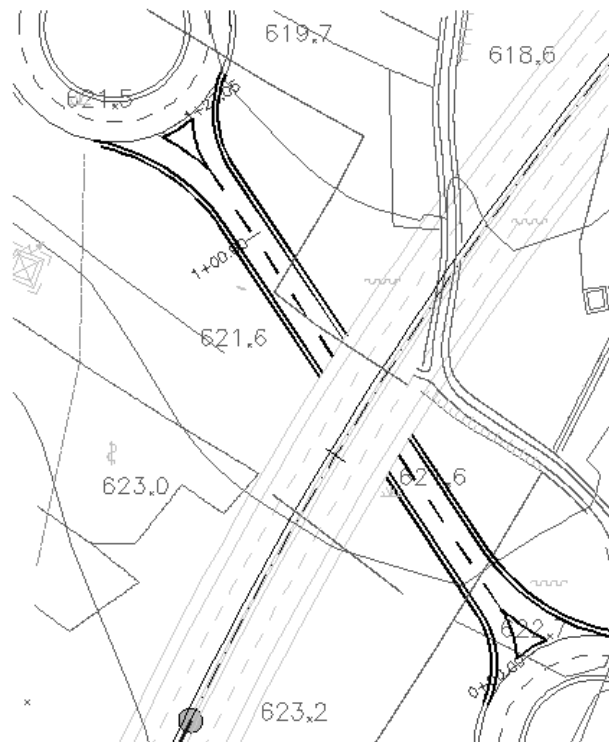


Fig.22 – Planta Restabelecimento 2

Devido à existência duma O.A. e consequente necessidade de garantir um “gabarit” mínimo, tornou-se necessário colocar a rotunda A em escavação. Assim, conseguiu-se garantir um pouco mais que 5m, entre o ponto mais baixo da estrada principal e da estrada secundária. Contudo através duma observação rápida da figura 23, facilmente se verifica o “gabarit” obtido. Ao ter em conta que este troço se encontra entre rotundas, torna-se necessário mencionar que os traineis, tanto o inicial, como o final, terão 2,5% de inclinação, e as sobrelevações estarão de acordo com a inclinação longitudinal da rotunda dependendo do ponto em que a intersectam.

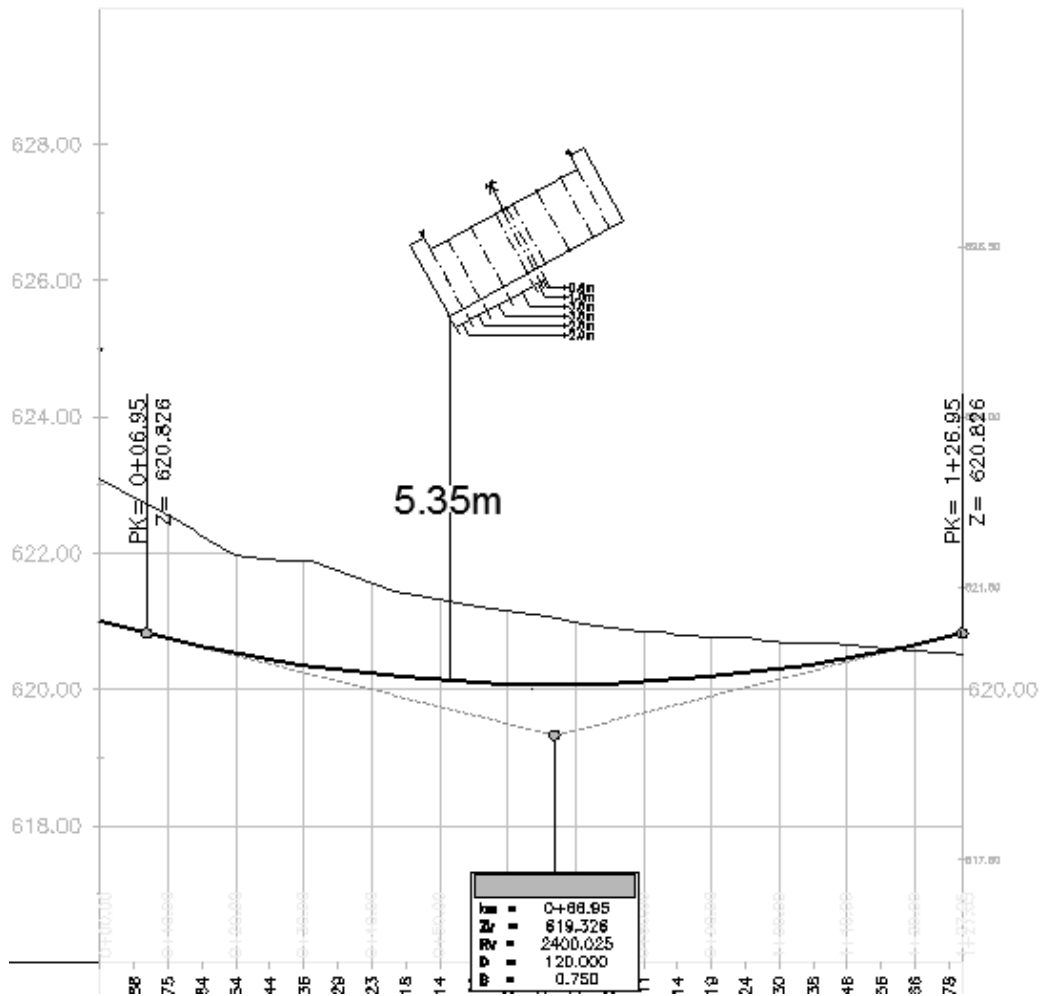


Fig.23 – Perfil Longitudinal Restabelecimento 2

3.3.3. RESTABELECIMENTO 3

O troço 3, último troço que compõem o restabelecimento, tem a sua extensão crescente no sentido de afastamento da estrada principal. As coordenadas necessárias para o definir podem-se encontrar no quadro 19.

Quadro 19 – Coordenadas Restabelecimento 3

Restabelecimento 3				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I	0+000,00	89684,006	195082,597	Alinhamento recto
TS	0+000,70	89683,619	195083,179	Curva
SC	0+030,93	89668,768	195109,437	
CCC		89734,012	195134,799	
CS	0+115,66	89687,272	195186,908	
ST	0+145,88	89712,386	195203,620	
Alinhamento recto				
TS	0+207,05	89765,612	195233,757	Curva
SC	0+237,28	89790,724	195250,469	
CCC		89743,984	195302,578	
CS	0+291,59	89813,841	195298,115	
ST	0+321,82	89811,426	195328,184	
F	0+329,89	89810,202	195336,167	

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC - Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS - Osculação curva circular - clotóide

ST - Osculação clotóide - alinhamento recto

F – Fim

Este troço é composto por duas curvas mas, tal como no primeiro, a ideia inicial de ligar o caminho existente directamente em recta à rotunda não era viável, dado que a zona de inserção na Rotunda B se encontraria ocupada pelo Ramo 1, pelo que se tornou necessário optar por uma solução diferente da inicialmente idealizada.

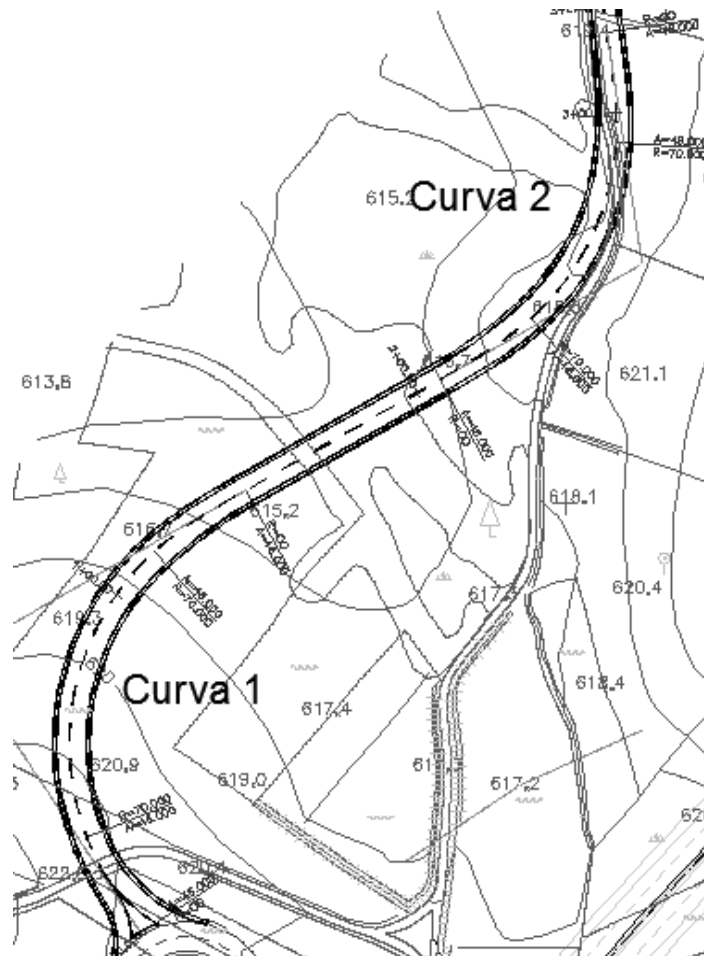


Fig.24 – Planta Restabelecimento 3

Esta alteração, conjuntamente com o interesse de retomar o traçado, preexistente, do caminho, implicou a utilização de raios muito perto dos mínimos permitidos. Ao observar o quadro 20, facilmente se constata, novamente de forma casual, que os valores escolhidos para o raio e o parâmetro A da clotóide são iguais aos do restabelecimento 1.

Quadro 20 – Estudo de curvas para o Restabelecimento 3

Curva 1		Curva 2	
R (m)	70	R (m)	70
A (m)	46	A (m)	46
ΔR (m)	0,544	ΔR (m)	0,544
L (m)	30,229	L (m)	30,229
Ω (rad)	1,64	Ω (rad)	1,233
$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,216	$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,216
SI (m)	1,143	SI (m)	1,143

Na figura 25, podem ser observadas as escolhas efectuadas para a rasante deste troço de acordo com a minimização de movimentos de terras e o cumprimento das normas.

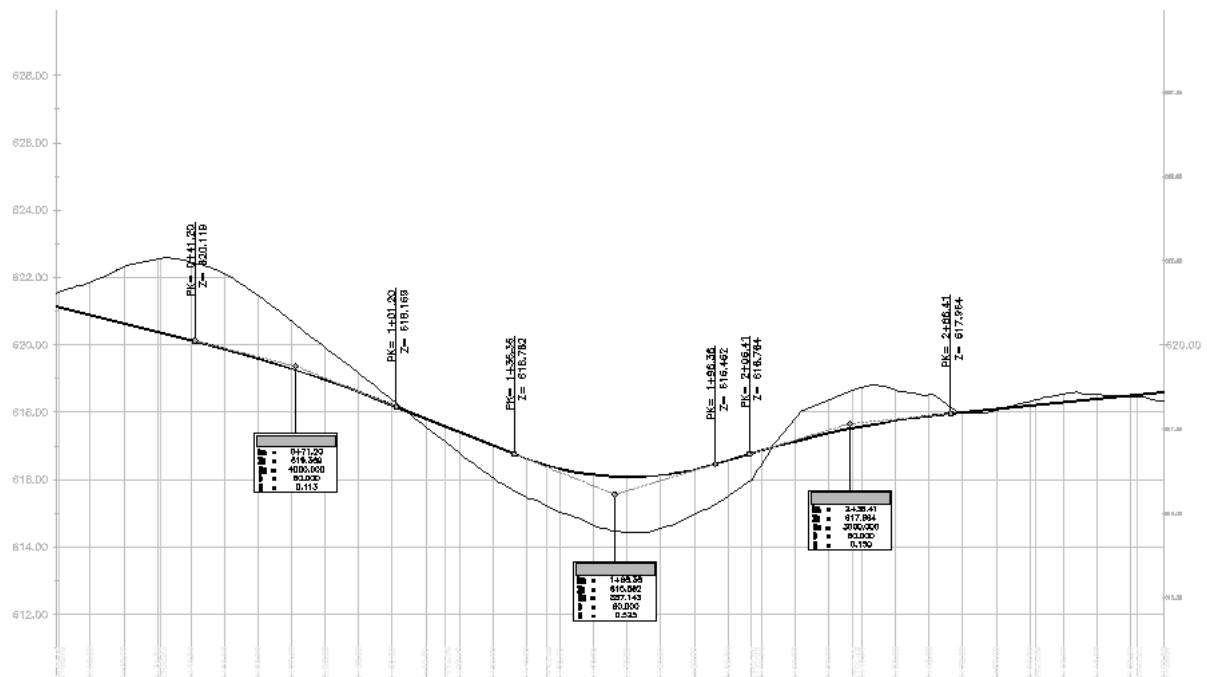


Fig.25 – Perfil Longitudinal Restabelecimento 3

3.4. RAMOS DE LIGAÇÃO

Os ramos de ligação, como elemento fundamental constituinte de um nó, encontram-se devidamente referenciados na norma de nós de ligação. Estas, além das várias condicionantes que impõem sobre o seu dimensionamento, também indicam valores mínimos para a extensão das curvas de transição.

Quadro 21 – Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação

Velocidade padrão (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60
Raio mínimo (m)	15	25	35	45	60	75	90	120
Extensão mínima de transição (m)	15	21	24	28	32	36	40	45
Parâmetro da clotóide	15	22,5	28	36	45	52	60	75

Assim, dependendo da velocidade específica ou padrão para a qual um ramo de ligação esteja preparado, a norma de nós de ligação indica-nos, para cada raio mínimo, o parâmetro A a adoptar, de forma a garantir a extensão mínima da curva de transição, como representado no quadro 21. No entanto, não impede o projectista de optar por raios de maior valor, pelo que, sempre que tal se suceder, o dimensionamento das curvas de transição deverá ser efectuado respeitando os critérios estabelecidos nas normas de traçado.

Os ramos utilizados para este nó têm várias características em comum. Todos eles serão pensados para uma velocidade específica de 60km/h, encontrando-se a meio do intervalo de velocidades recomendadas para este tipo de nós de ligação, em que o mínimo é de 40km/h. A opção por esta velocidade específica derivou das inclinações acentuadas dos traineis pertencentes à estrada principal, na tentativa de evitar variações bruscas de velocidade, ao ter em conta a diferença de 60km/h entre as velocidades base da estrada principal e da estrada secundária, assim como, de forma a diminuir as vias de aceleração e abrandamento que serão mencionadas em 3.5..

Por outro lado foram equacionados os espaços disponíveis em cada quadrante bem como o desenvolvimento de cada ramo e forma a proporcionar inclinações aceitáveis. Considerando que estes elementos não foram muito condicionantes, o raio escolhido pode ser relacionado tendo em atenção a velocidade pretendida.

Todos os ramos de ligação terão apenas uma via, com largura de 4m e bermas interiores e exteriores de 1m e 2,5m, respectivamente. Em caso algum será necessário introduzir sobrelarguras pois todas as curvas terão raios superiores a 90m.

3.4.1. RAMO 1

O ramo 1, definido pelas coordenadas da directriz representadas no quadro 22, é composto por duas curvas, tal como se pode observar na figura 26. Como ramo de saída que é, a primeira curva é à direita, afastando o ramo da E.P., e a segunda à esquerda de forma a direccionar o ramo para a rotunda B.

Quadro 22 – Coordenadas do Ramo 1

Ramo 1							
Ponto	[m]	M	P	Designação			
I	0+000,00	89928,186	195199,215	Curva			
TS							
SC					0+032,40	89902,403	195179,603
CCC						89759,779	195384,927
CS					0+063,26	89876,040	195163,606
ST	0+095,66	89846,739	195149,794				
Alinhamento recto							
TS	0+123,67	89821,151	195138,401	Curva			
SC	0+156,07	89791,850	195124,589				
CCC		89908,111	194903,268				
CS	0+164,95	89784,061	195120,319				
ST	0+197,35	89756,656	195103,046				
F	0+246,48	89715,673	195075,958	Alinhamento recto			

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC - Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS - Osculação curva circular - clotóide

ST - Osculação clotóide - alinhamento recto

F – Fim

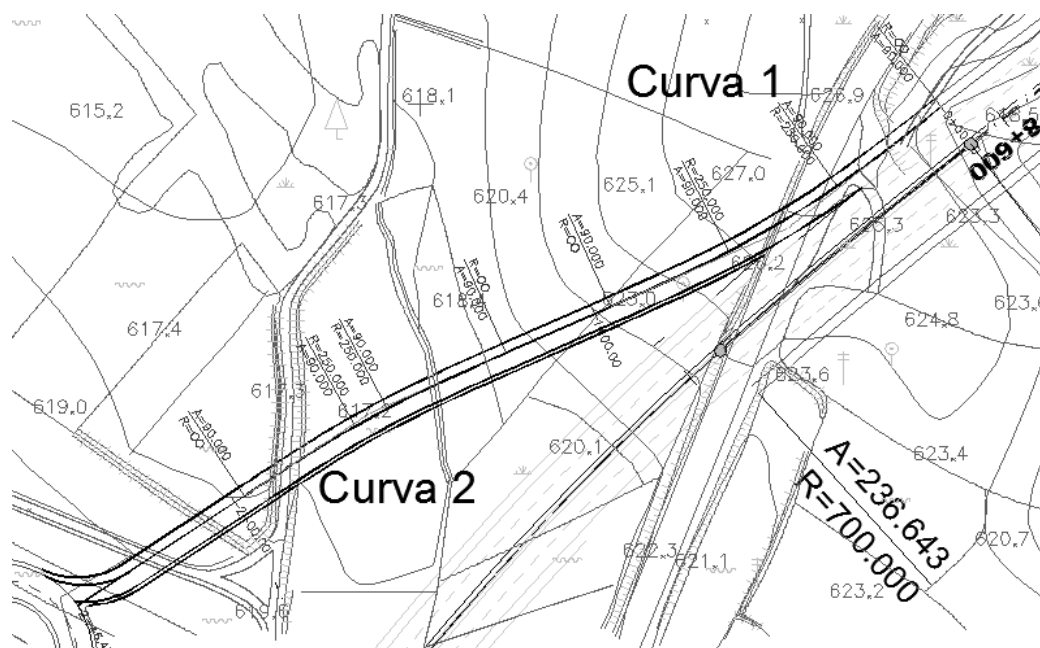


Fig.26 – Planta Ramo 1

Porém, apesar de diferentes propósitos, as curvas são relativamente semelhantes, em que tanto o valor do raio como do parâmetro A da clotoide serão os mesmos. Para uma melhor compreensão do estudo efectuado para cada curva do ramo 1, encontram-se indicados no quadro 23 alguns valores importantes.

Quadro 23 – Estudo de curvas para o Ramo 1

Curva 1		Curva 2	
R (m)	250	R (m)	250
Se	5%	Se	5%
A (m)	90	A (m)	90
ΔR (m)	0,175	ΔR (m)	0,175
L (m)	32,4	L (m)	32,4
Ω (rad)	0,284	Ω (rad)	0,165
$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,065	$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,065

Como em qualquer outro ramo de ligação, a zona pavimentada comum entre ramo e a estrada principal, condiciona, de certa forma, o perfil longitudinal.

Apesar de ser prática comum efectuar um trainel tangente à estrada principal no ponto em que o ramo a intersecta, o método utilizado neste projecto é ligeiramente diferente.

Ao ter em conta que uma simples tangente poderá provocar uma quebra na zona pavimentada comum entre ramo de ligação e estrada principal, optou-se por retirar 3 cotas relativamente afastadas que

pertencessem a essa zona e a partir destas aproximar um arco. Desta forma, a quebra já mencionada, ou se torna inexistente, ou imperceptível.

É possível, através da observação da figura 27, visualizar os pontos utilizados, processo que foi repetido para todos os ramos de ligação, sejam de saída ou de entrada em estrada principal. Assim, a partir do eixo da estrada principal, cujas cotas são conhecidas, e do conhecimento do valor da sobrelevação, tanto da estrada principal como do ramo, é possível retirar as cotas do eixo do ramal de ligação, pelas quais se deverá aproximar um arco concordante. No entanto, este método, por vezes, provoca um elemento concordante relativamente prolongado, com inclinações não favoráveis a ramos de curta extensão, o que poderá implicar o alongamento do ramo.

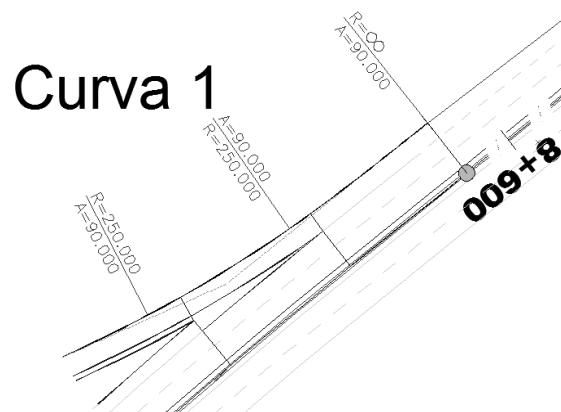


Fig.27 – Saída da Estrada Principal pelo Ramo 1

Após determinadas as 3 cotas, torna-se possível aproximar um arco concordante, e consequentemente, definir a restante rasante do ramo de ligação (processo e cálculos efectuados com explicação detalhada em anexo). Na figura 28, pode-se observar o resultado final obtido para o perfil longitudinal do ramo 1.

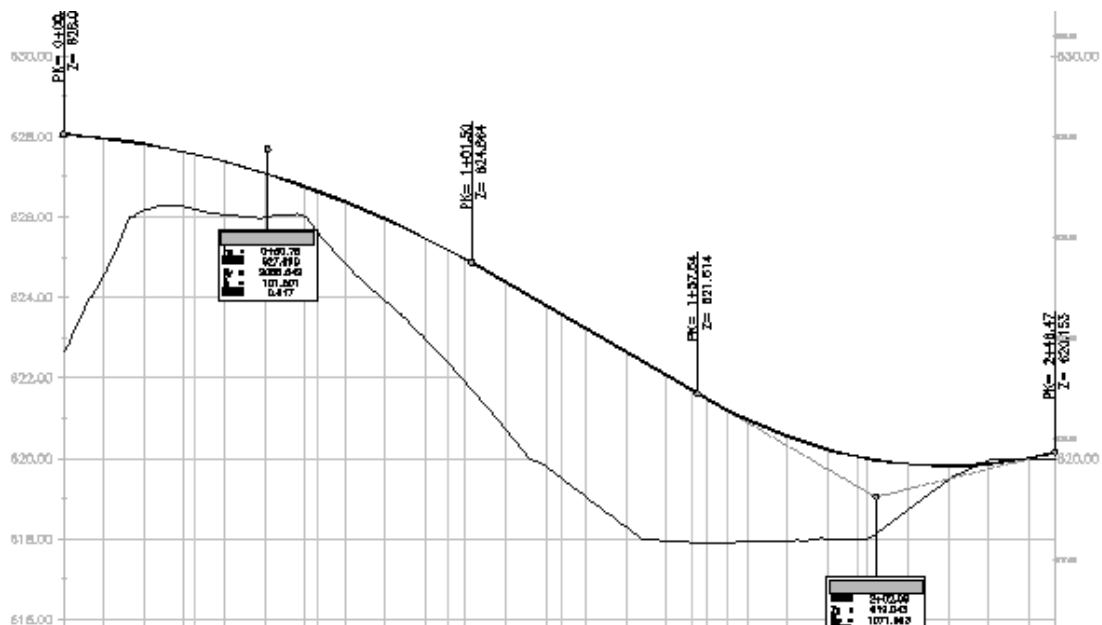


Fig.28 – Perfil Longitudinal Ramo 1

3.4.2. RAMO 2

O ramo 2, que providencia acesso à estrada principal, tem início na rotunda B e é composto por 2 curvas à direita. Ambas com raios de 300m, partilham, além deste, outros valores comuns.



Fig.29 – Planta Ramo 2

Alguns dos valores provenientes do seu estudo podem-se encontrar no quadro 25 e as coordenadas que daí derivaram e definem este ramo estão indicadas no quadro 24.

Quadro 24 – Coordenadas Ramo 2

Ramo 2				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I	0+000,00	89690,492	195041,072	Alinhamento recto
TS	0+003,32	89690,419	195037,753	Curva
SC	0+030,32	89689,426	195010,774	
CCC		89390,094	195030,787	
CS	0+059,01	89686,148	194982,285	
ST	0+086,01	89680,986	194955,786	
Alinhamento recto				
TS	0+185,26	89660,548	194858,656	Curva
SC	0+212,26	89654,594	194832,323	
CCC		89364,098	194907,238	
CS	0+242,56	89645,561	194803,417	
ST	0+269,56	89635,462	194778,380	
F				

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC - Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS - Osculação curva circular - clotóide

ST - Osculação clotóide - alinhamento recto

F – Fim

Quadro 25 – Estudo de curvas para o Ramo 2

Curva 1		Curva 2	
R (m)	300	R (m)	300
Se	4%	Se	4%
A (m)	90	A (m)	90
ΔR (m)	0,101	ΔR (m)	0,101
L (m)	27	L (m)	27
Ω (rad)	0,186	Ω (rad)	0,191
$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,045	$\tau=L/2 \cdot R$ (rad)	0,045

Os raios escolhidos são de valor elevado no sentido de contornar as condicionantes de ocupação do solo impostas pela existência de uma torre de alta tensão, um tanque e um poço. Assim, foi possível que os factores condicionantes ficassem à direita do ramo - figura 30 -, possibilitando uma menor extensão deste.

Porém, para que esta opção fosse funcional, era necessário que os movimentos de terra na proximidade dos elementos já mencionados, fossem mínimos, não interferindo com estes.

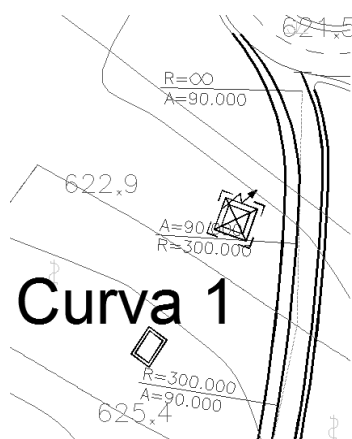


Fig.30 – Pormenor com condicionantes de ocupação do solo do Ramo 2

Após o dimensionamento do ramo, verificou-se que a torre de alta tensão é o elemento mais preocupante. Porém, o ponto mais próximo desta, encontra-se a pouco mais de 3 m da berma exterior do ramo. Apesar de relativamente perto, ao ter em conta que o volume a escavar será diminuto, perceptível por observação da figura 31, assumiu-se que o traçado escolhido não causará problemas.

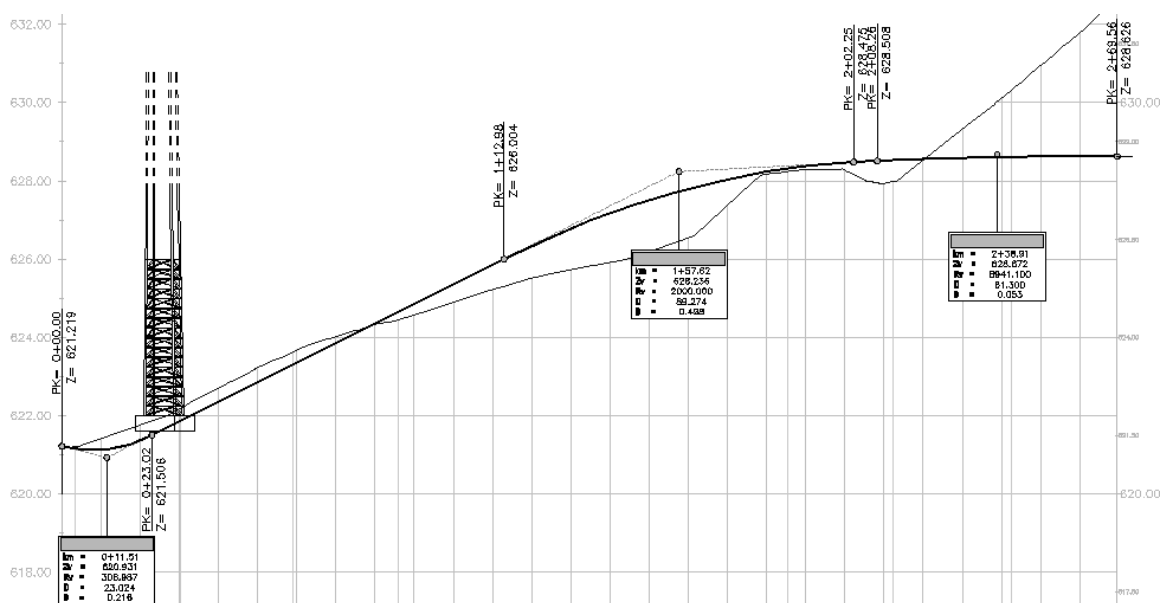


Fig.31 – Perfil Longitudinal Ramo 2

3.4.3. RAMO 3

Como é já regra desta dissertação, na análise de cada troço, ou elemento, constituinte deste nó de ligação, os primeiros quadros apresentados referem-se às coordenadas que definem a directriz do ramo - quadro 26 - e o estudo efectuado para as curvas – quadro 27 - que o compõe.

Quadro 26 – Coordenadas Ramo 3

Ramo 3				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I				
TS	0+000,00	89625,634	194694,191	
SC	0+048,17	89646,642	194737,473	Curva
CCC		89773,815	194657,931	
CS	0+057,47	89651,814	194745,199	
ST	0+105,63	89683,825	194781,115	
Alinhamento recto				
TS	0+141,68	89709,210	194806,700	
SC	0+181,68	89736,608	194835,827	Curva
CCC		89545,635	194997,164	
CS	0+197,25	89746,279	194848,027	
ST	0+237,25	89768,390	194881,437	
F	0+258,56	89779,698	194899,415	Alinhamento recto

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotoide

SC - Osculação clotoide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS - Osculação curva circular - clotoide

ST - Osculação clotoide - alinhamento recto

F – Fim

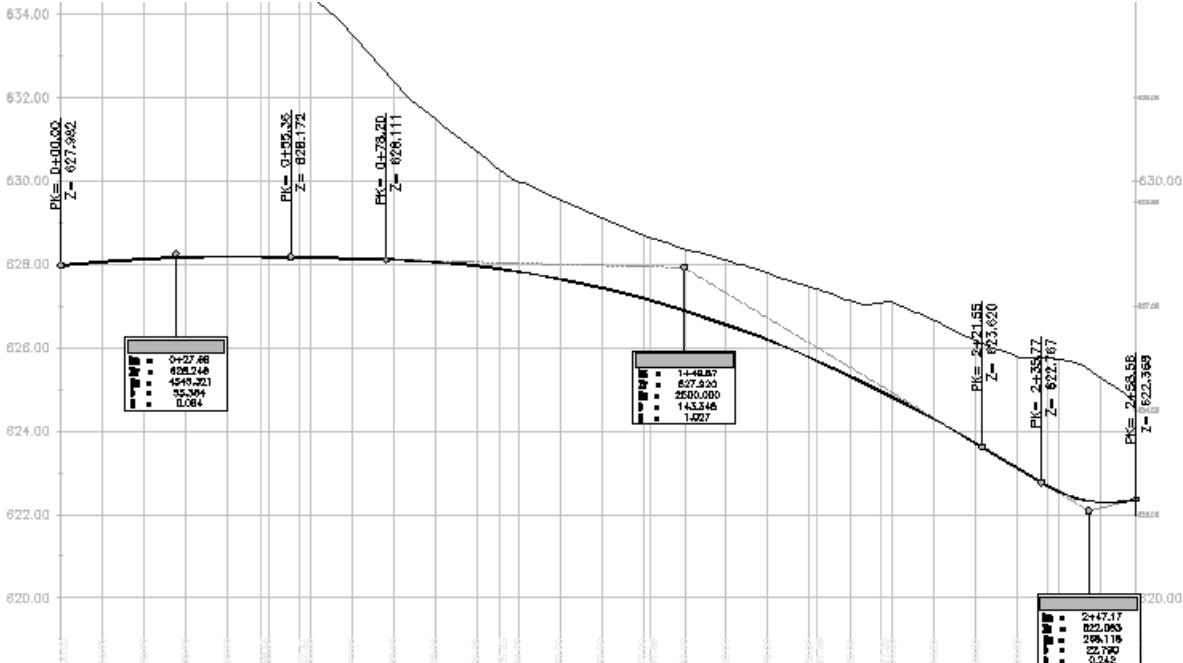


Fig.33 – Perfil Longitudinal Ramo 3

3.4.4. RAMO 4

É muito distinto dos restantes ramos. Este, cujas coordenadas que definem o eixo de sua directriz se encontram representadas no quadro 28, tem na sua constituição apenas uma curva.

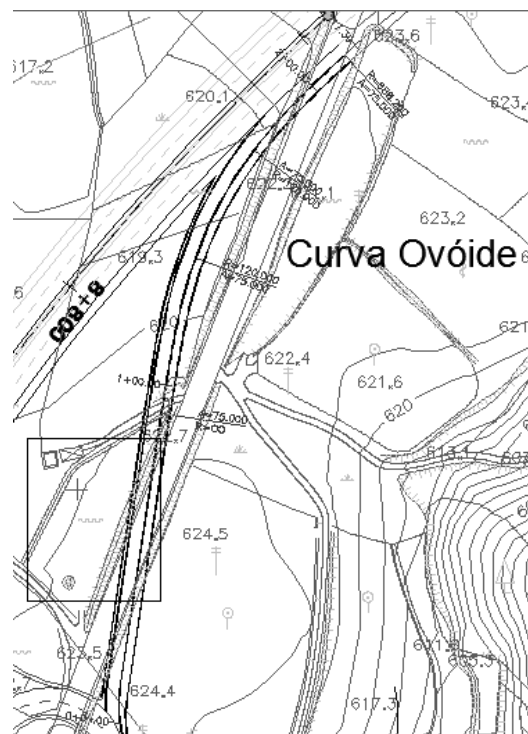


Fig.34 – Planta Ramo 4

Ao observar a figura 35, denota-se a existência de um lago, uma barraca e um tanque. Contudo, a proximidade do lago foi o factor de maior preocupação, pois considerou-se que após a construção do nó a barraca deixaria de ter utilização. No entanto, os 12m existentes entre a berma interior do ramo e o lago deverão ser mais que suficientes para a escavação necessária.

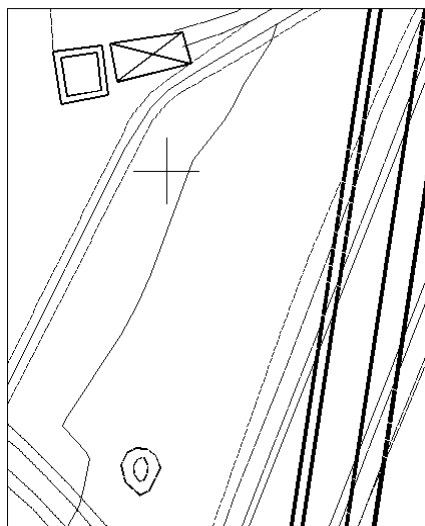


Fig.35 – Pormenor Planta Ramo 4, condicionantes de ocupação do solo

Quadro 28 – Coordenadas Ramo 4

Ramo 4				
Ponto	[m]	M	P	Designação
I	0+000,00	89811,066	194931,626	Alinhamento recto
TS	0+091,73	89824,874	195022,307	Curva ovóide
SC	0+138,60	89834,912	195068,013	
CCO		89947,783	195027,269	
CS	0+174,60	89851,994	195099,549	
SC	0+213,30	89878,708	195127,470	Curva circular
F	0+217,39	89881,747	195130,202	

Legenda: I – Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC - Osculação clotóide - curva circular

CCO – Centro curva ovóide

CS - Osculação curva circular - clotóide

ST - Osculação clotóide - alinhamento recto

F – Fim

A curva que constitui este ramo é ovóide e permite a entrada em curva na estrada principal. Os elementos necessários para o dimensionamento desta curva, assim como a sua aplicação na construção da mesma, podem ser observados nos quadros 29 e 30 e figura 36.

Quadro 29 – Estudo de curva ovóide para o Ramo 4

	R [m]	A [m]	L [m]	ΔR [m]	X_m [m]	τ [rad]
Rp	120	75	46,875	0,763	23,408	0,195
Rg	688,2	75	8,173	0,004	4,087	0,006

Quadro 30 – Estudo de curva ovóide para o Ramo 4

$(R+\Delta R)_p$	120,763
ΔX	19,321
ΔY	567,441
D	567,770
$\tan(\theta)$	0,034

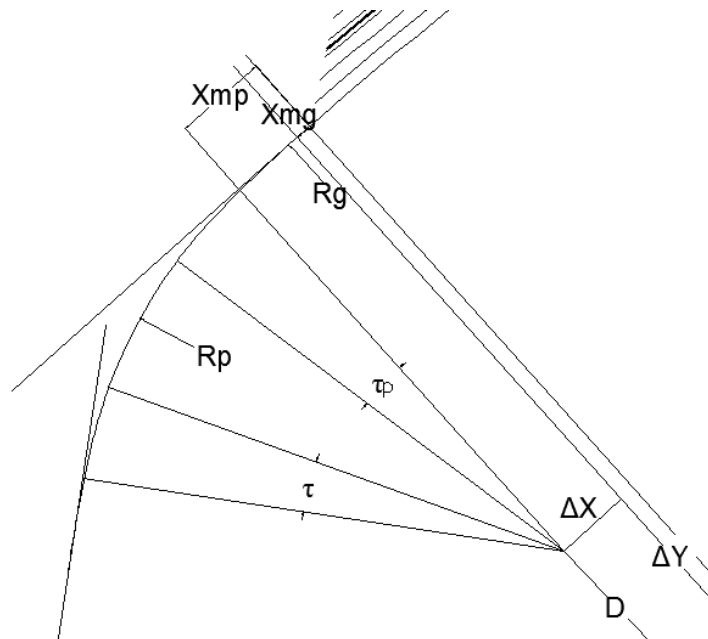


Fig.36 – Construção da Curva Ovóide do Ramo 4

O facto de este ramo ligar ao interior da curva circular da estrada principal permitiu que o arco, derivado do método aplicado em 3.4.1., fosse favorável, ao prever traineis com inclinações suaves sem ser necessário alongar o ramo.

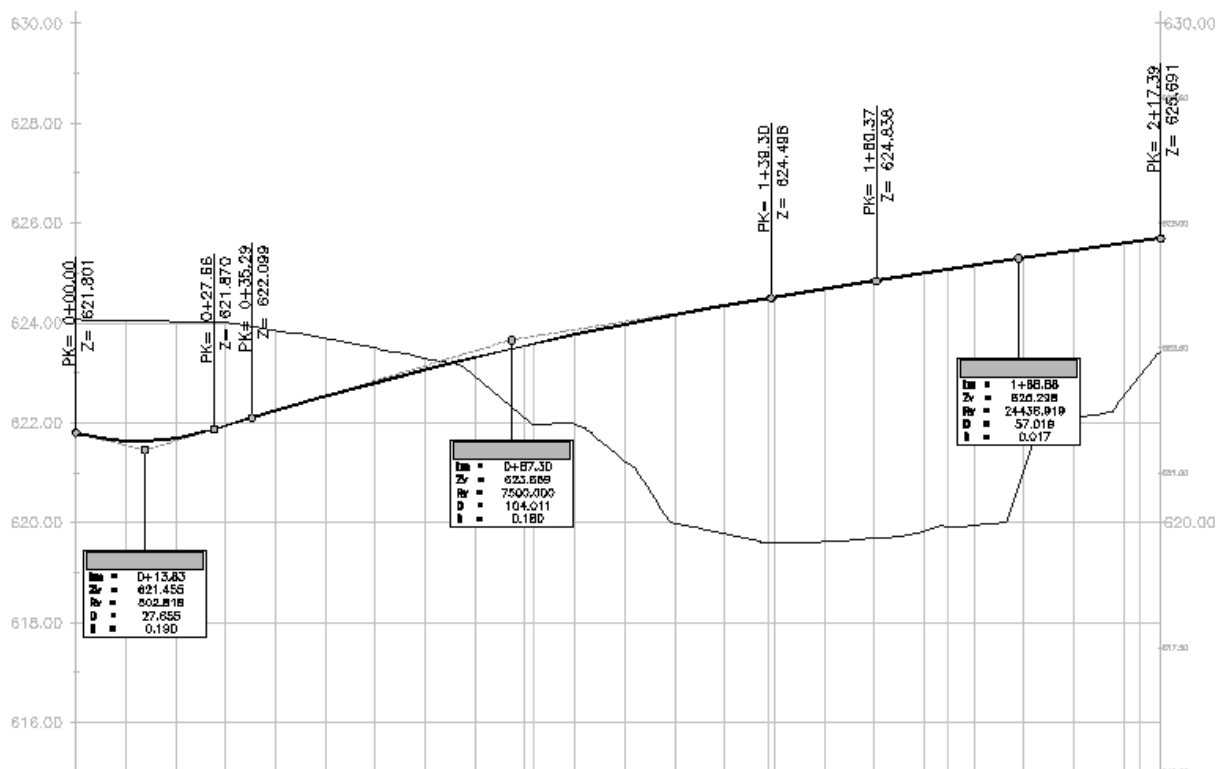


Fig.37 – Perfil Longitudinal Ramo 4

3.5. VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

Apesar de serem os últimos elementos a considerar na elaboração do projecto, a sua importância é preponderante para o correcto funcionamento do nó de ligação. Ao encontrarem-se, de forma auxiliar, na faixa da estrada principal, proporcionam ao condutor uma via única para variações de velocidade, com o intuito de evitar constrangimentos ao tráfego das vias principais.

3.5.1. VIAS DE ABRANDAMENTO

Ambas as vias de abrandamento utilizadas para este nó de ligação são em diagonal e foram dimensionadas de acordo com o previsto pela norma de intersecções - quadros 31 e 32- para vias de variação de velocidade em diagonal. Através da figura 38, é possível uma melhor compreensão do modo de aplicação da norma de intersecções. Os valores fornecidos vêm em função da V_b da estrada principal e dos raios da primeira curva dos ramos 1 e 3.

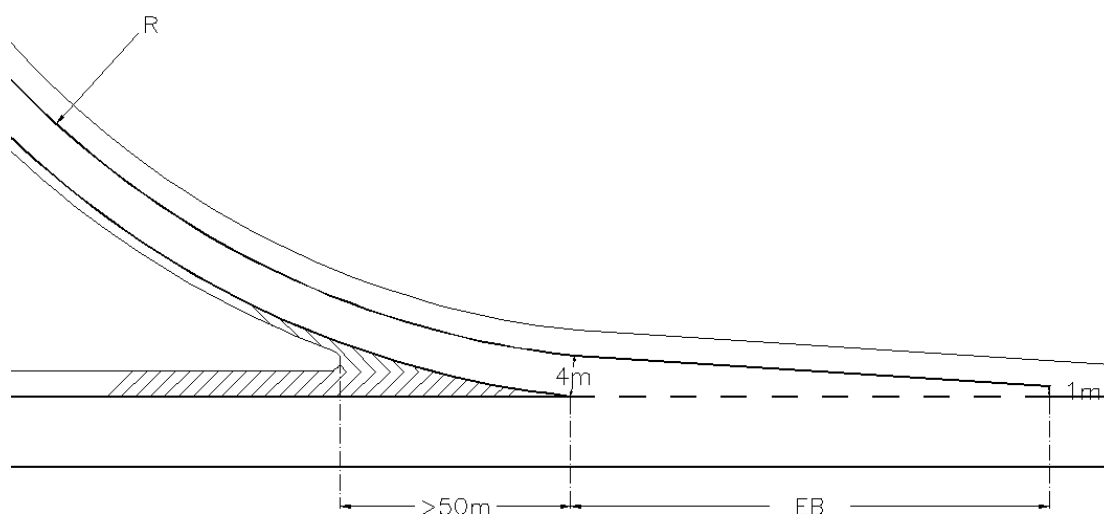


Fig.38 – Construção de via de abrandamento em diagonal

Quadro 31 – Comprimentos de EB

V_b (km/h)	≤ 90	100	120		
R (m)	≥ 15	≥ 25	40	45	≥ 60
EB (m)	80	110	145	135	125

Quadro 32 – Factores de correcção

i (%)	Rampa	Declive
3 a 4	0,9	1,2
5 a 6	0,8	1,35

Para a via de abrandamento de acesso ao ramo 1, ao ter em conta que o trainel que a antecede tem um declive de 6%, optou-se por um factor de correcção de 1,35. No que respeita ao ramo 3, para a via de abrandamento que lhe dá acesso, será considerado um factor de correcção de 0,9, correspondente a uma rampa com inclinação de 3% a 4%. Apesar do trainel que a antecede ter uma inclinação de 6%, adoptaram-se estes valores porque esta via auxiliar encontra-se, aproximadamente, no topo duma concordância convexa, ficando assim garantida a extensão necessária para o abrandamento dos veículos em segurança.

3.5.2. VIAS DE ACELERAÇÃO

Para o dimensionamento deste tipo de via auxiliar, foram utilizadas as normas espanholas. Os quadros 33 e 34, retirados destas normas, fornecem apenas o necessário para dimensionar as vias de aceleração, em que, consoante a velocidade padrão permitida pelo raio da última curva do ramo de ligação e a velocidade base da estrada principal, podemos obter a extensão da via de aceleração, assim como o raio do “taper” que a conclui.

Quadro 33 – Comprimentos de vias de aceleração

Vias de aceleração								
Velocidade específica do ramal (km/h)	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio mínimo da curva (m)		15	25	45	75	120	250	
Estradas com grandes intensidades de tráfego								
Velocidade de estrada (km/h)	Raio"taper" (m)	Extensão da via de aceleração incluindo "taper" (m)						
50	45	90	70	55	45	----	----	----
60	55	140	120	105	90	55	----	----
70	60	185	185	150	135	100	60	----
80	65	235	215	200	185	150	105	----
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
Outras estradas								
50	45	55	45	45	45	----	----	----
60	55	90	75	65	55	55	----	----
70	60	125	110	90	75	60	60	----
80	65	165	150	130	110	85	65	----
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Quadro 34 – Factores de correcção

Vias de aceleração - Factor correctivo							
Inclinação E.P. (%)	Velocidade de estrada (km/h)	Velocidade específica no ramal de ligação (km/h)					
		30	40	50	60	80	Todas
3 a 4	50	1,3	1,3	----	----	----	0,7
	60	1,3	1,3	1,3	----	----	0,7
	70	1,3	1,3	1,3	1,3	----	0,65
	80	1,4	1,4	1,4	1,4	----	0,65
	100	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	0,6
	120	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	0,6
5 a 6	50	1,5	1,5	----	----	----	0,6
	60	1,5	1,5	1,5	----	----	0,6
	70	1,5	1,5	1,6	1,6	----	0,55
	80	1,6	1,6	1,7	1,8	----	0,55
	100	1,8	1,9	2	2,2	2,6	0,5
	120	2,1	2,2	2,3	2,6	3,1	0,5

Tanto na via de aceleração do ramo 2, como no ramo 4, o raio do “taper” será de 75m – figura 39 e 40-. Porém, as extensões obtidas para as vias de aceleração, que incluem o “taper” no seu valor, foram bastante díspares, tendo-se obtido 75m de comprimento para a via auxiliar do ramo 2 e 264m para a do ramo 4.

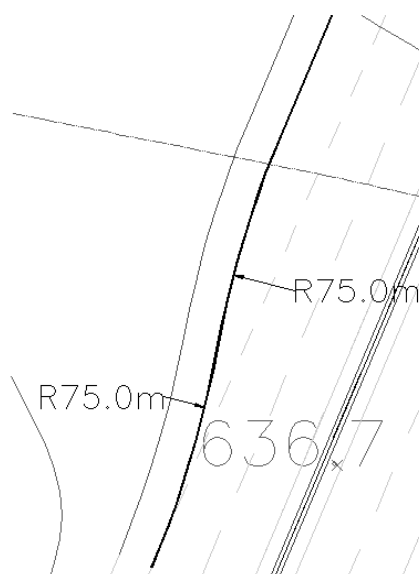


Fig.39 – Taper Ramo 2

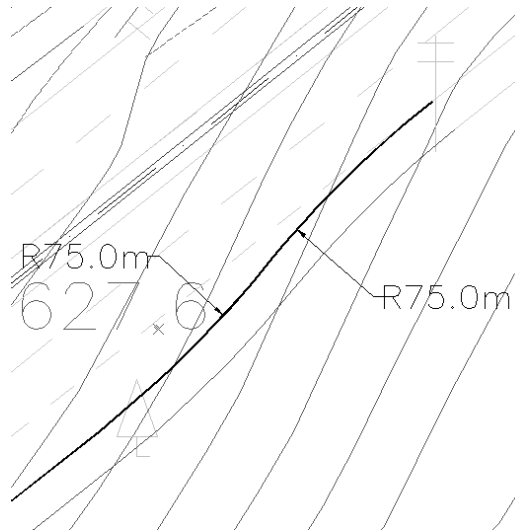


Fig.40 – Taper Ramo 4

4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação, confrontei-me com diversas dificuldades, tanto relacionadas com o desconhecimento do software, como com alguma inexperiência no que respeita à elaboração de projectos de vias de comunicação. As dificuldades relacionadas com o software deveram-se, sobretudo, à inicial falta de conhecimento das funcionalidades do programa e de como as utilizar. No entanto, todos os obstáculos foram ultrapassados, uns com extrema facilidade, outros com força de vontade. No que respeita à elaboração do projecto, as normas a cumprir são, sem dúvida, uma mais-valia. No entanto, restringem imenso a definição tanto da planta como do perfil longitudinal de todo o projecto, pois são extremamente abrangentes e cobrem todo o tipo de problemáticas existentes.

Com o findar da dissertação, denoto que poderão existir alguns pressupostos teóricos e considerações efectuadas no decorrer da elaboração do projecto que não foram mencionadas nesta parte escrita. De certo modo, considero que, numa dissertação deste tipo, o cerne do trabalho está explícito nas peças desenhadas. Assim, a vertente escrita deverá ser apenas um apoio aos elementos referidos, procurando explicitar, de um modo sucinto, as escolhas relevantes para o projecto.

Assim, como autor deste projecto, e após toda a experiência adquirida com o seu desenrolar, estou certo que tomaria, em algumas situações, opções diferentes, as quais certamente conduziriam a uma solução distinta. Uma dessas opções passaria por considerar uma velocidade padrão de 40 km/h, para que o nó ocupasse uma área menor. No entanto, são essas escolhas tomadas pelo projectista que vão moldando o projecto. Mas a questão impõe-se: será que a solução daí proveniente seria melhor do que a alcançada? A resposta prevalece: nada impede que as duas fossem soluções ótimas.

BIBLIOGRAFIA

JAE, 1994 – *Norma de traçado*, JAE P3/94; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

JAE, 1990 – *Norma de Nós de Ligação*, JAE P6/90; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

JAE, 1990 – *Norma de Intersecções*, JAE P5/90; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Sebenta de Vias de Comunicação I*, FEUP, 1995

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Sebenta de Vias de Comunicação II*, FEUP, 1995

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*

Costa, Américo Pires – *Apontamentos de Circulação e Transportes I – Intersecções Prioritárias*, FEUP

<http://maps.google.pt/>. 8 de Dezembro de 2010

http://www.carroantigo.com/portugues/conteudo/curio_roda.htm. 29 de Novembro de 2010

ANEXOS

A1 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 1

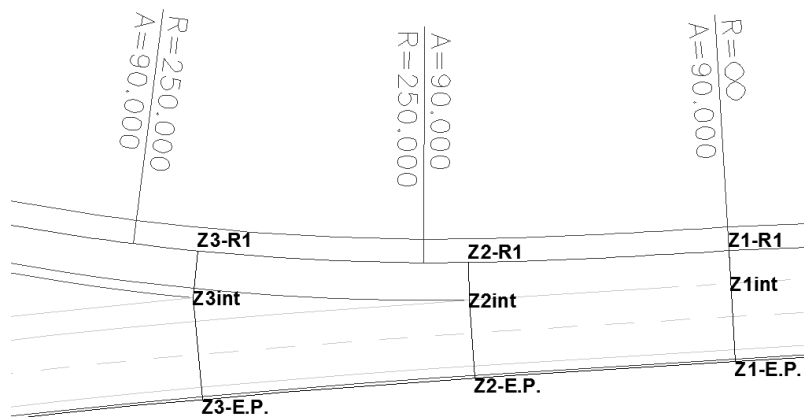


Fig.41 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 1

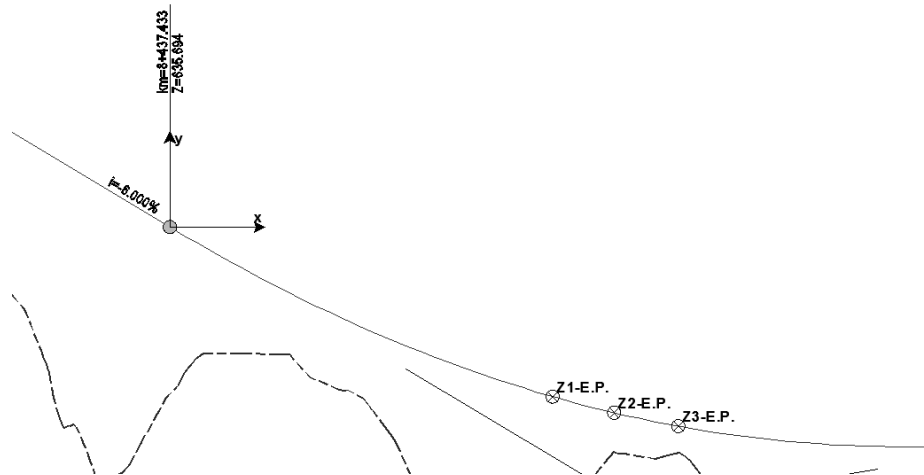


Fig.42 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P. (Estrada Principal)

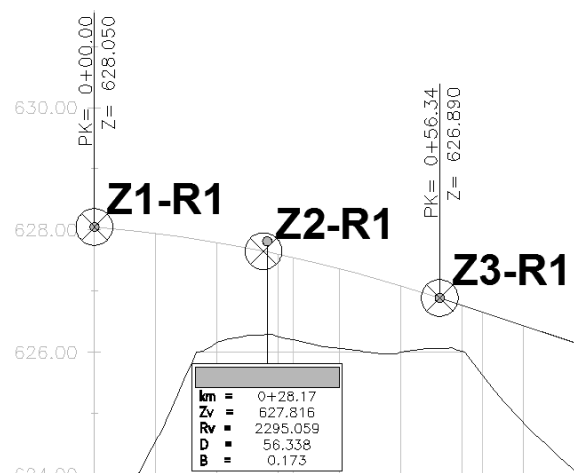


Fig.43 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 1

Quadro 35 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z1-R1	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i ₁	-6,00%
i ₂	1,73%
R (m)	5500
x (m)	172,47
y (m)	-7,644
Z1-E.P. (m)	628,050
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	0,00%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z1int	628,050
Determinação cota Ramo	
Dist. R1 (m)	3,5
Se ramo	0,00%
Z1-R1 (m)	628,050

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z1-E.P. e Z1int
 Dist. R1 – Distância em planta entre Z1int e Z1-R1

Quadro 36 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z2-R1	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i_1	-6,00%
i_2	1,73%
R (m)	5500
x (m)	200,182
y (m)	-8,36
Z2-E.P. (m)	627,326
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	1,91%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z2int	627,485
Determinação cota Ramo	
Dist. R1 (m)	4
Se	4,26%
Z2-R1 (m)	627,655

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z2-E.P. e Z2int
 Dist. R1 – Distância em planta entre Z2int e Z2-R1

Quadro 37 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z3-R1	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i ₁	-6,00%
i ₂	1,73%
R (m)	5500
x (m)	229,129
y (m)	-8,975
Z3-E.P. (m)	626,719
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	3,90%
Dist. E.P. (m)	10,8
Z3int	627,140
Determinação cota Ramo	
Dist. R1 (m)	5
Se	5,00%
Z3-R1 (m)	626,890

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z3-E.P. e Z3int
 Dist. R1 – Distância em planta entre Z3int e Z3-R1

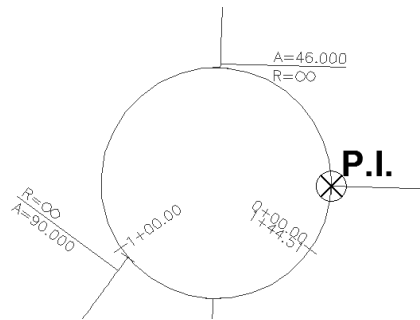


Fig.44 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 1 e a Rotunda B

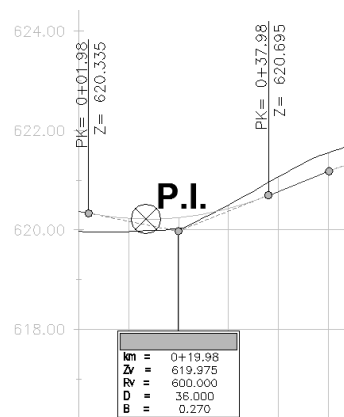


Fig.45 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Ramo 1

Quadro 38 – Estudo das Características do Ramo 1 na intersecção com a Rotunda B

P.I. (m)	13,432
Se Rot	2,50%
Zic (m)	620,335
i ₁	2%
R (m)	600
i ₂	4%
x (m)	11,448
Z f-R1 (m)	620,153
Sef-R1	0,09%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda

Zic – Cota de início de concordância

Sef-R1 – Sobreelevação no fim do ramo

Zf-R1 – Cota final do ramo

Quadro 39 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 1

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
628,05	Concordância	D	56,338
		R	2295,059
626,89	Trainel	i	-3,32%
		D	49,12
625,259	Concordância	D	33,564
		R	2000
623,862	Trainel	i	-5%
		D	63,09
620,708	Concordância	D	44,364
		R	591,52
620,153		i	2,50%
		D	0

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A2 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 2

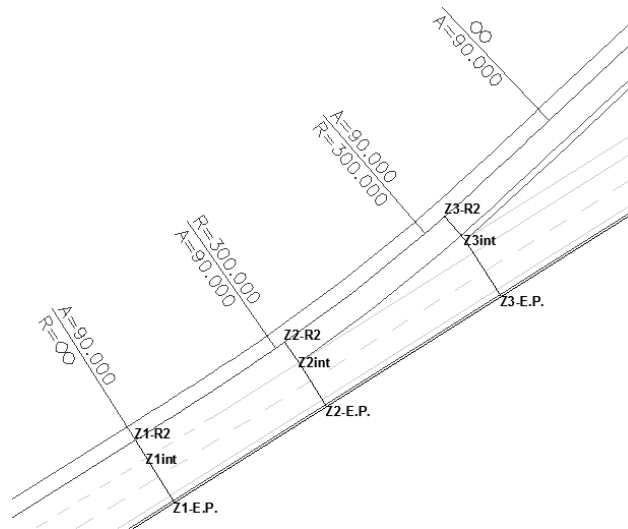


Fig.46 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 2

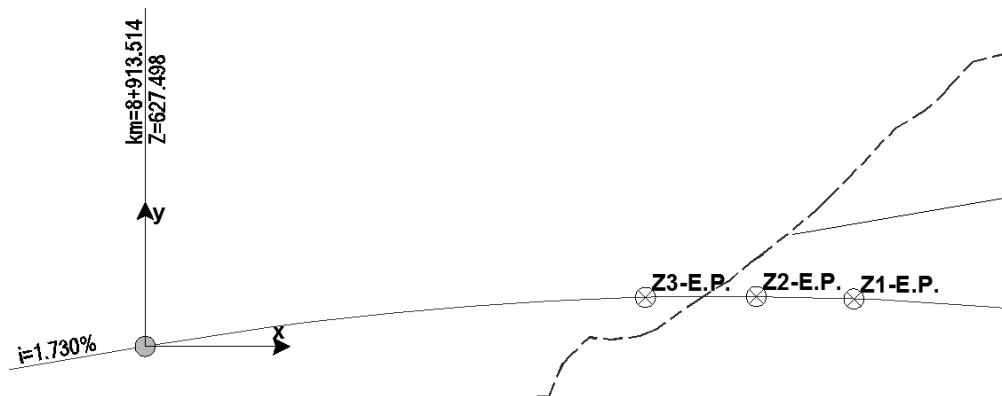


Fig.47 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.

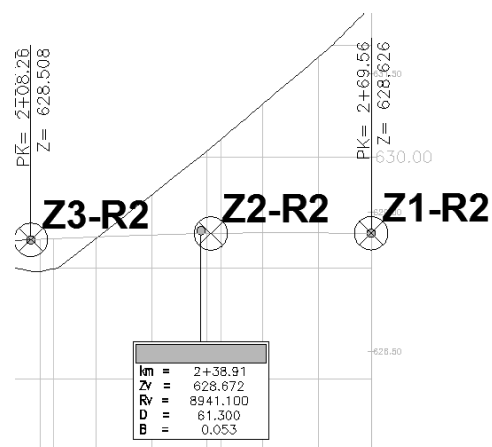


Fig.48 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 2

Quadro 40 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z1-R2	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i_1	1,73%
i_2	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	211,303
y (m)	1,423
Z1-E.P. (m)	628,921
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	-2,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z1int	628,714
Determinação cota Ramo	
Dist. R2 (m)	3,5
Se ramo	2,50%
Z1-R2 (m)	628,626

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z1-E.P. e Z1int
 Dist. R2 – Distância em planta entre Z1int e Z1-R2

Quadro 41 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z2-R2	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i_1	1,73%
i_2	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	182,269
y (m)	1,492
Z2-E.P. (m)	628,990
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	-2,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z2int	628,783
Determinação cota Ramo	
Dist. R2 (m)	4
Se	4,00%
Z2-R2 (m)	628,623

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z2-E.P. e Z2int
 Dist. R2 – Distância em planta entre Z2int e Z2-R2

Quadro 42 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z3-R4	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i ₁	1,73%
i ₂	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	149,451
y (m)	1,469
Z3-E.P. (m)	628,967
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	-2,50%
Dist. E.P. (m)	10,8
Z3int	628,697
Determinação cota Ramo	
Dist. R2 (m)	5
Se	3,78%
Z3-R2 (m)	628,508

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z3-E.P. e Z3int
 Dist. R1 – Distância em planta entre Z3int e Z3-R2

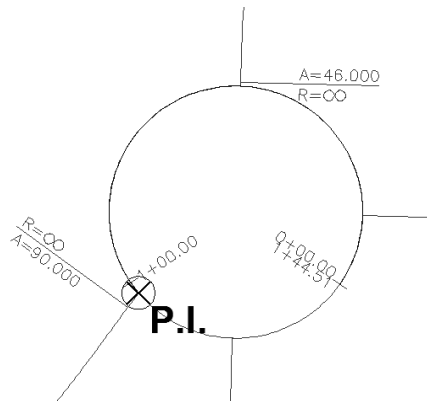


Fig.49 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 2 e a Rotunda B

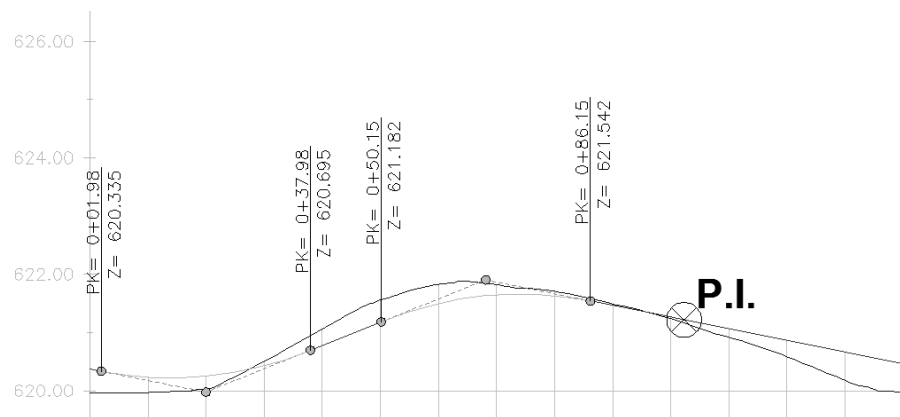


Fig.50 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Ramo 2

Quadro 43 – Estudo das Características do Ramo 2 na intersecção com a Rotunda B

P.I. (m)	102,321
Se Rot	2,50%
i_{rot}	-2%
Zi-R2 (m)	621,219
Sei-R2	2,00%

Legenda: P.I. – distância ao início da rotunda
 Sei-R2 – sobreelevação no início do ramo
 Zi-R2 – Cota inicial do ramo
 i_{rot} – inclinação longitudinal da rotunda

Quadro 44 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 2

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
621,219	Concordância	i	-2,50%
		D	23,024
		R	306,987
621,506	Trainel	i	5,00%
		D	89,95
		D	89,274
626,004	Concordância	R	2000
		i	0,54%
		D	6,01
628,475	Trainel	D	61,3
		R	8941,1
628,508	Concordância		
628,626	Concordância		

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A3 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 3

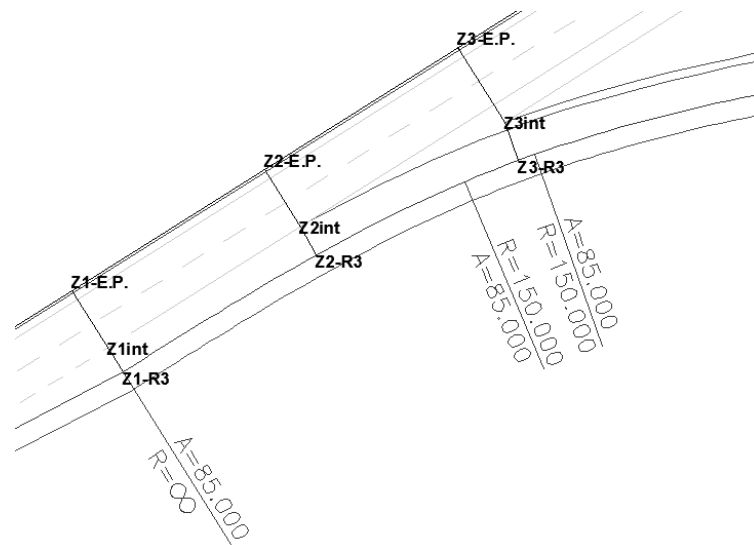


Fig.51 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 3

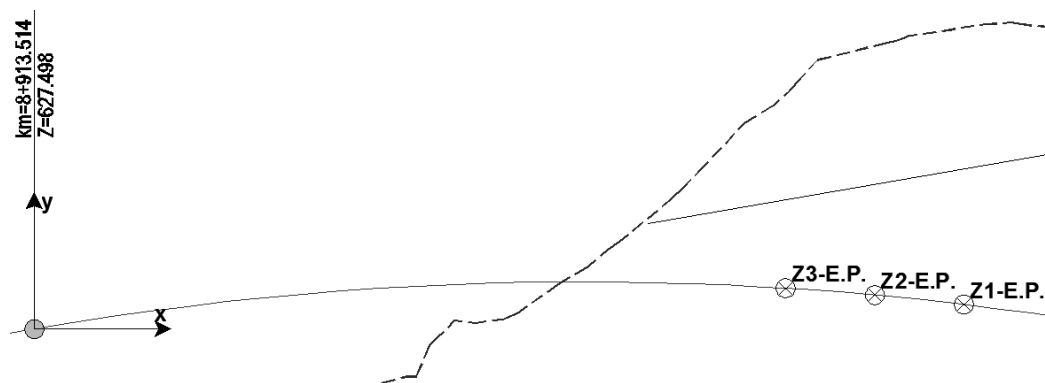


Fig.52 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.

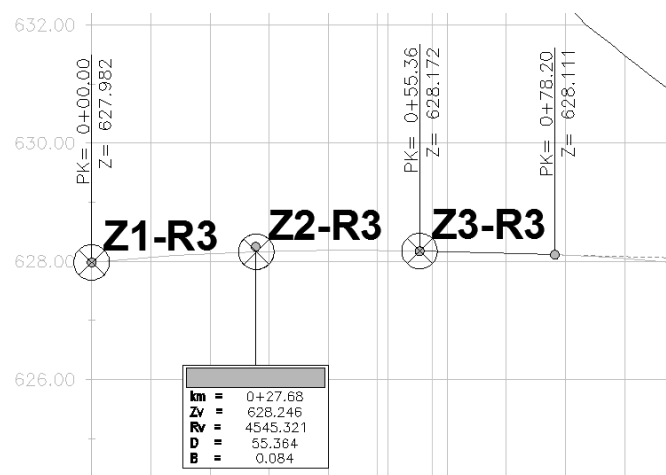


Fig.53 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 3

Quadro 45 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z1-R3	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i_1	1,73%
i_2	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	292,746
y (m)	0,779
Z1-E.P. (m)	628,277
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	2,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z1int	628,070
Determinação cota Ramo	
Dist. R3 (m)	3,5
Se ramo	2,50%
Z1-R3 (m)	627,982

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z1-E.P. e Z1int
 Dist. R1 – Distância em planta entre Z1int e Z1-R3

Quadro 46 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z2-R3	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i_1	1,73%
i_2	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	264,758
y (m)	1,075
Z2-E.P. (m)	628,574
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	2,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z2int	628,366
Determinação cota Ramo	
Dist. R3 (m)	4
Se	5,10%
Z2-R3 (m)	628,162

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z2-E.P. e Z2int
 Dist. R3 – Distância em planta entre Z2int e Z2-R3

Quadro 47 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z3-R3	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	627,498
i_1	1,73%
i_2	-6,00%
R (m)	10000
x (m)	236,6
y (m)	1,294
Z3-E.P. (m)	628,792
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	2,50%
Dist. E.P. (m)	10,8
Z3int	628,522
Determinação cota Ramo	
Dist. R3 (m)	5
Se	7,00%
Z3-R3 (m)	628,172

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z3-E.P. e Z3int
 Dist. R3 – Distância em planta entre Z3int e Z3-R3

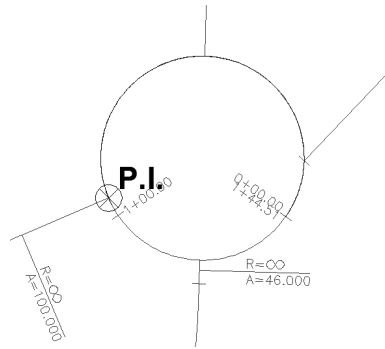


Fig.54 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 3 e a Rotunda A

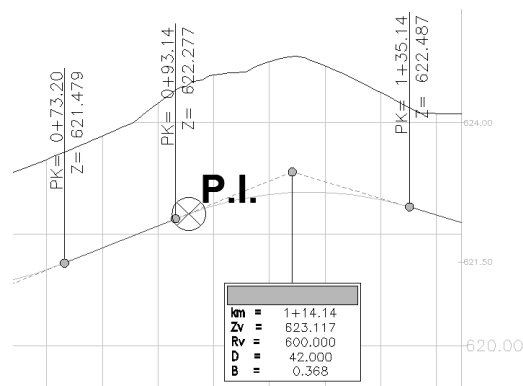


Fig.55 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Ramo 3

Quadro 48 – Estudo das Características do Ramo 3 na intersecção com a Rotunda A

P.I. (m)	95,523
Se Rot	2,50%
Zic (m)	622,277
i_1	4%
R (m)	600
i_2	-3%
x (m)	2,385
Zf-R3 (m)	622,368
Sef-R3	3,60%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda
 Zic – Cota de início de concordância
 Sef-R3 – Sobrelevação no fim do ramo
 Zf-R3 – Cota final do ramo

Quadro 49 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 3

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
621,801	Concordância	i	-2,50%
		D	27,655
621,87		R	502,818
	Trainel	i	3,00%
623,243		D	45,77
	Concordância	D	27,736
623,883		R	2000
	Trainel	i	1,61%
624,838		D	59,21
	Concordância	D	57,019
625,691		R	24438,92

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A4 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RAMO 4

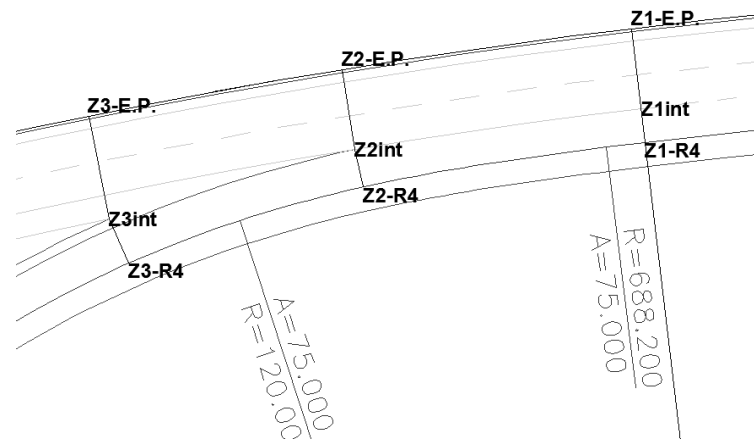


Fig.56 – Cotas a determinar para a aproximação de concordância Ramo 4

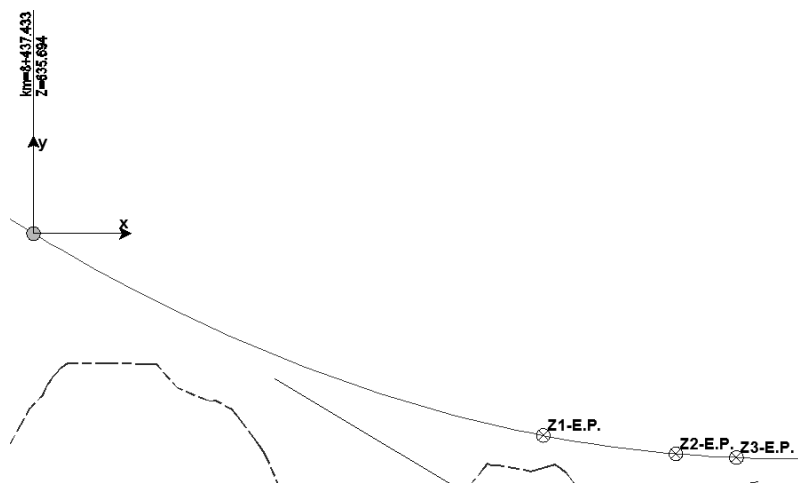


Fig.57 – Localização das cotas a determinar na rasante do eixo da E.P.

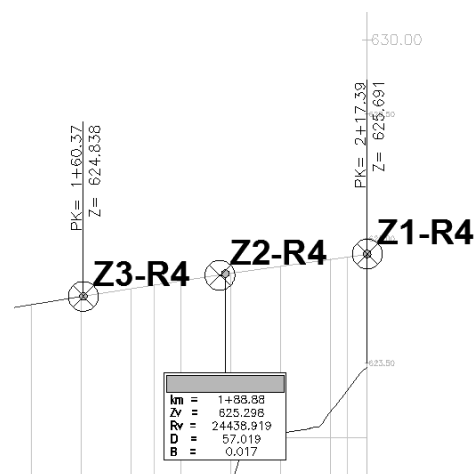


Fig.58 – Arco concordante obtido por aproximação das cotas calculadas para o eixo do Ramo 4

Quadro 50 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z1-R4	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i_1	-6,00%
i_2	1,73%
R (m)	5500
x (m)	252,47
y (m)	-9,354
Z1-E.P. (m)	626,340
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	5,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z1int	625,884
Determinação cota Ramo	
Dist. R4 (m)	3,5
Se ramo	5,50%
Z1-R4 (m)	625,691

Legenda: Zic – Cota de início de concordância

Dist. E.P. – Distância em planta entre Z1-E.P. e Z1int

Dist. R4 – Distância em planta entre Z1int e Z1-R4

Quadro 51 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z2-R4	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i_1	-6,00%
i_2	1,73%
R (m)	5500
x (m)	282,808
y (m)	-9,698
Z2-E.P. (m)	625,997
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	5,50%
Dist. E.P. (m)	8,3
Z2int	625,54
Determinação cota Ramo	
Dist. R4 (m)	4
Se	7,15%
Z2-R4 (m)	625,254

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z2-E.P. e Z2int
 Dist. R4 – Distância em planta entre Z2int e Z2-R4

Quadro 52 – Determinação das Cotas para aproximação de concordância

Z3-R4	
Determinação cota E.P.	
Zic (m)	635,694
i_1	-6,00%
i_2	1,73%
R (m)	5500
x (m)	309,489
y (m)	-9,862
Z3-E.P. (m)	625,832
Determinação cota intermédia	
Se E.P.	5,50%
Dist. E.P. (m)	10,8
Z3int	625,238
Determinação cota Ramo	
Dist. R4 (m)	5
Se	8,00%
Z3-R4 (m)	624,838

Legenda: Zic – Cota de início de concordância
 Dist. E.P. – Distância em planta entre Z3-E.P. e Z3int
 Dist. R4 – Distância em planta entre Z3int e Z3-R4

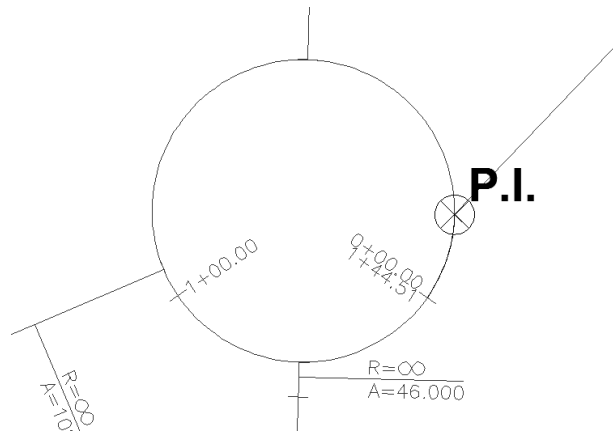


Fig.59 – Intersecção em Planta entre o eixo do Ramo 4 e a Rotunda A

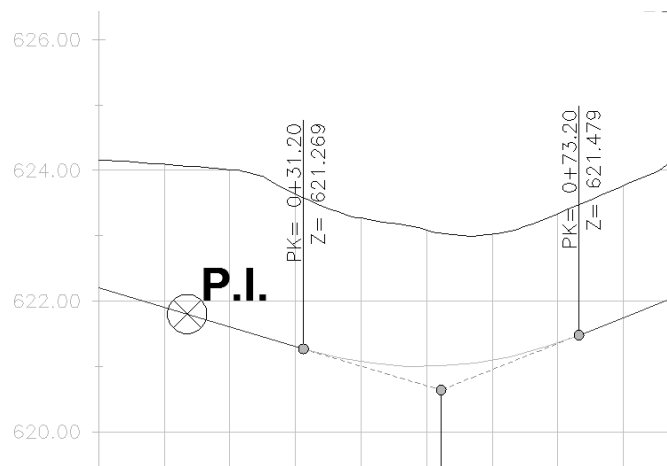


Fig.60 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Ramo 4

Quadro 53 – Estudo das Características do Ramo 4 na intersecção com a Rotunda A

P.I. (m)	13,471
Se Rot	2,50%
i_{rot}	-3%
Zi-R4 (m)	621,801
Sei-R4	3,00%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda
 Sei-R4 – Sobrelevação no início do ramo
 Zi-R4 – Cota inicial do ramo
 i_{rot} – inclinação longitudinal da rotunda

Quadro 54 – Elementos definidores da Rasante do Ramo 4

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
621,801	Concordância	i	-2,50%
		D	27,655
621,87		R	502,818
	Trainel	i	3,00%
623,243		D	45,77
	Concordância	D	27,736
623,883		R	2000
	Trainel	i	1,61%
624,838		D	59,21
	Concordância	D	57,019
625,691		R	24438,92

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A5 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 1

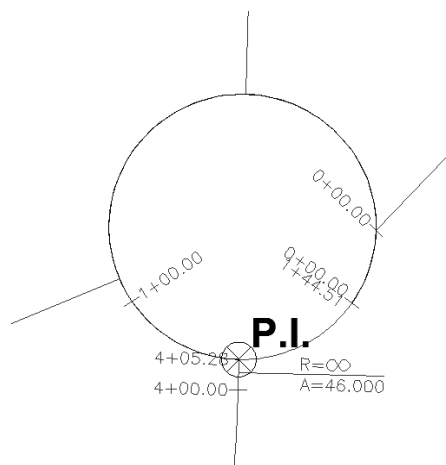


Fig.61 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 1 e a Rotunda A

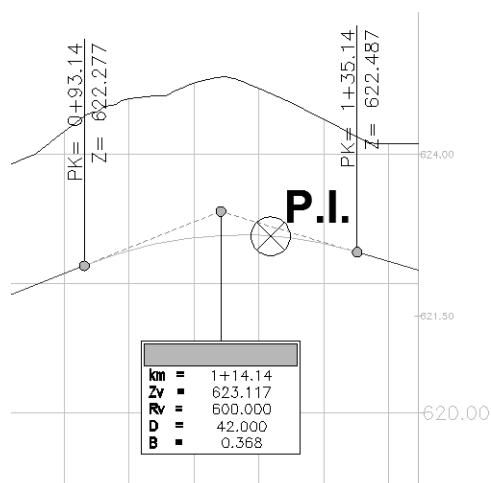


Fig.62 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Restabelecimento 1

Quadro 55 – Estudo das Características do Restabelecimento 1 na intersecção com a Rotunda A

P.I. (m)	121,817
Se Rot	2,50%
Zic (m)	622,277
i ₁	4%
R (m)	600
i ₂	-3%
x (m)	28,679
Z f-Rest1 (m)	622,835
Sef-Rest1	0,78%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda
 Zic – Cota de início de concordância
 Sef-R3 – Sobrelevação no fim do Restabelecimento
 Zf-R3 – Cota final do Restabelecimento

Quadro 56 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 1

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
635,68	Trainel	i	-1,00%
		D	132,51
634,355	Concordância	D	48
		R	1200
632,915	Trainel	i	-5%
		D	193,89
623,221	Concordância	D	30,884
		R	411,787
622,835		i	2,50%

Legenda: R – Raio da Concordância
 D – Desenvolvimento do elemento
 i – inclinação do trainel

A6 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 2

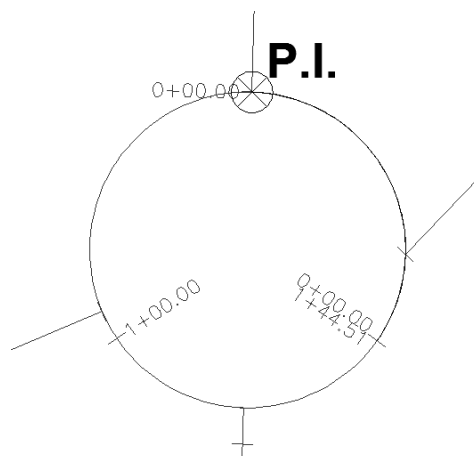


Fig.63 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 2 e a Rotunda A

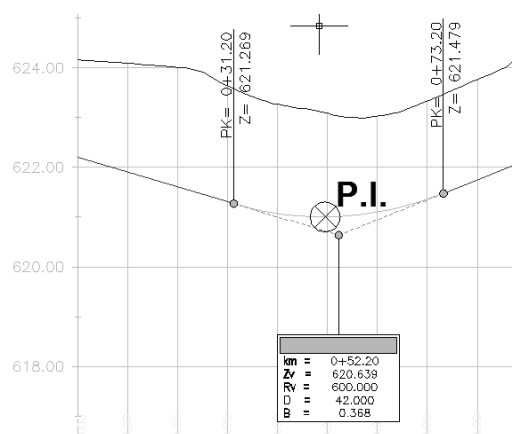


Fig.64 – Intersecção na Rasante da Rotunda A do eixo do Restabelecimento 2

Quadro 57 – Estudo das Características do Restabelecimento 2 na intersecção com a Rotunda A

P.I. (m)	49,539
Se Rot.A	2,50%
Zic (m)	621,269
i ₁	-3%
R (m)	600
i ₂	4%
x (m)	18,335
Z i-Rest2 (m)	621,005
Sei-Rest2	0,06%

Legenda: P.I. – Distância ao início da
rotunda
Zic – Cota de início de
concordância
Sef-R3 – Sobrelevação no
início do Restabelecimento
Zf-R3 – Cota no início do
Restabelecimento

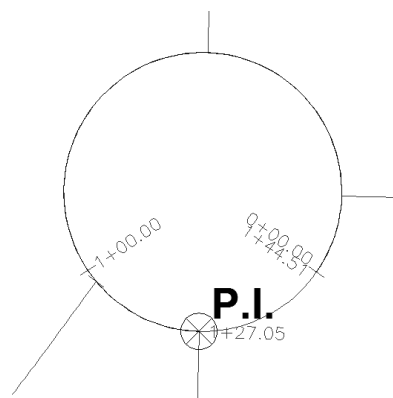


Fig.65 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 2 e a Rotunda B

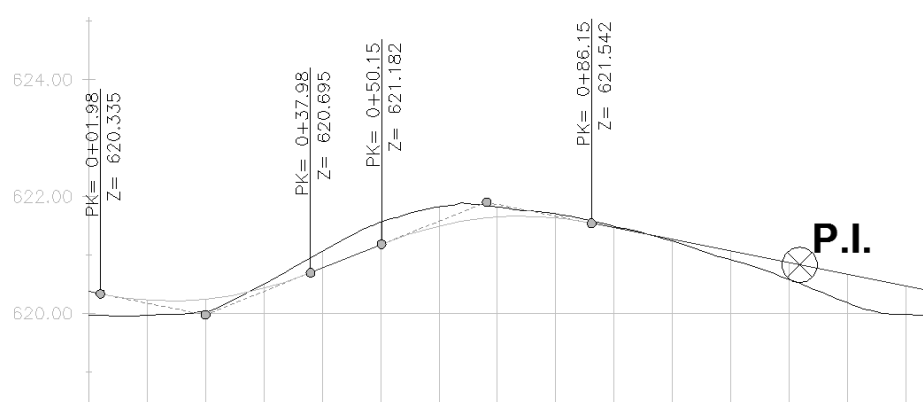


Fig.66 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Restabelecimento 2

Quadro 58 – Estudo das Características do Restabelecimento 2 na intersecção com a Rotunda B

P.I. (m)	121,817
Se Rot.B	2,50%
i_{rot}	-2%
Z f-Rest2 (m)	620,829
Sef-Rest2	2,00%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda

Sef-Rest2 – Sobreelevação no fim do Restabelecimento

Zf-Rest2 – Cota final do Restabelecimento

i_{rot} – inclinação longitudinal da rotunda

Quadro 59 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 2

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
621,005	Trainel	i	-2,50%
		D	23,14
620,421	Concordância	D	24
		R	1200
620,061	Trainel	i	-1%
		D	23,01
619,946	Concordância	D	36
		R	1200,021
620,306	Trainel	i	2,50%
		D	20,89
620,829			

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A7 ESTUDO EFECTUADO PARA A RASANTE DO RESTABELECIMENTO 3

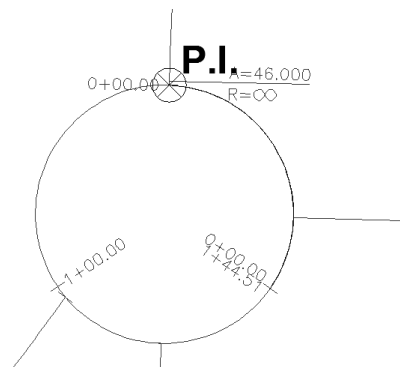


Fig.67 – Intersecção em Planta entre o eixo do Restabelecimento 3 e a Rotunda B

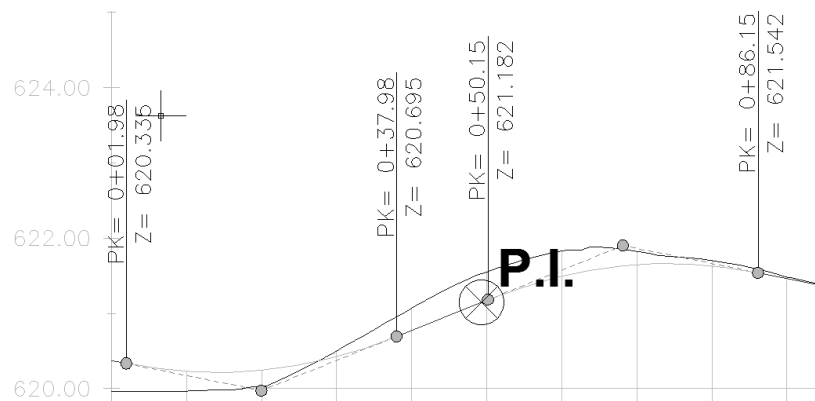


Fig.68 – Intersecção na Rasante da Rotunda B do eixo do Restabelecimento 3

Quadro 60 – Estudo das Características do Restabelecimento 3 na intersecção com a Rotunda B

P.I. (m)	49,318
Se Rot.B	2,50%
i_{rot}	4%
Zi-Rest3 (m)	621,149
Sei-Rest3	4,00%

Legenda: P.I. – Distância ao início da rotunda
 Sei-Rest3 – Sobreelevação no início do restabelecimento
 Zi-R4 – Cota inicial do restabelecimento
 i_{rot} – inclinação longitudinal da rotunda

Quadro 61 – Elementos definidores da Rasante do Restabelecimento 3

Rasante			
Cotas	Elementos	Características	
621,149	Trainel	i	-2,50%
		D	41,2
620,119	Concordância	D	60
		R	4000
618,169	Trainel	i	-4%
		D	35,16
616,762	Concordância	D	60
		R	857,143
616,462	Trainel	i	3,00%
		D	10,05
616,764	Concordância	D	60
		R	3000
617,964	Trainel	i	1%
		D	63,48
618,599			

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

A8 ELEMENTOS DEFINIDORES DOS PERFIS LONGITUDINAIS DAS ROTUNDAS EXISTENTES

Quadro 62 – Elementos definidores da Rasante da Rotunda A

Rasante Rotunda A			
Cotas	Elementos	Características	
622,206	Trainel	i	-3,00%
		D	31,2
621,269	Concordância	D	42
		R	600
621,479	Trainel	i	4%
		D	19,93
622,277	Concordância	D	42
		R	600
622,487	Trainel	i	-3,00%
		D	9,37
622,206			

Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

i – inclinação do trainel

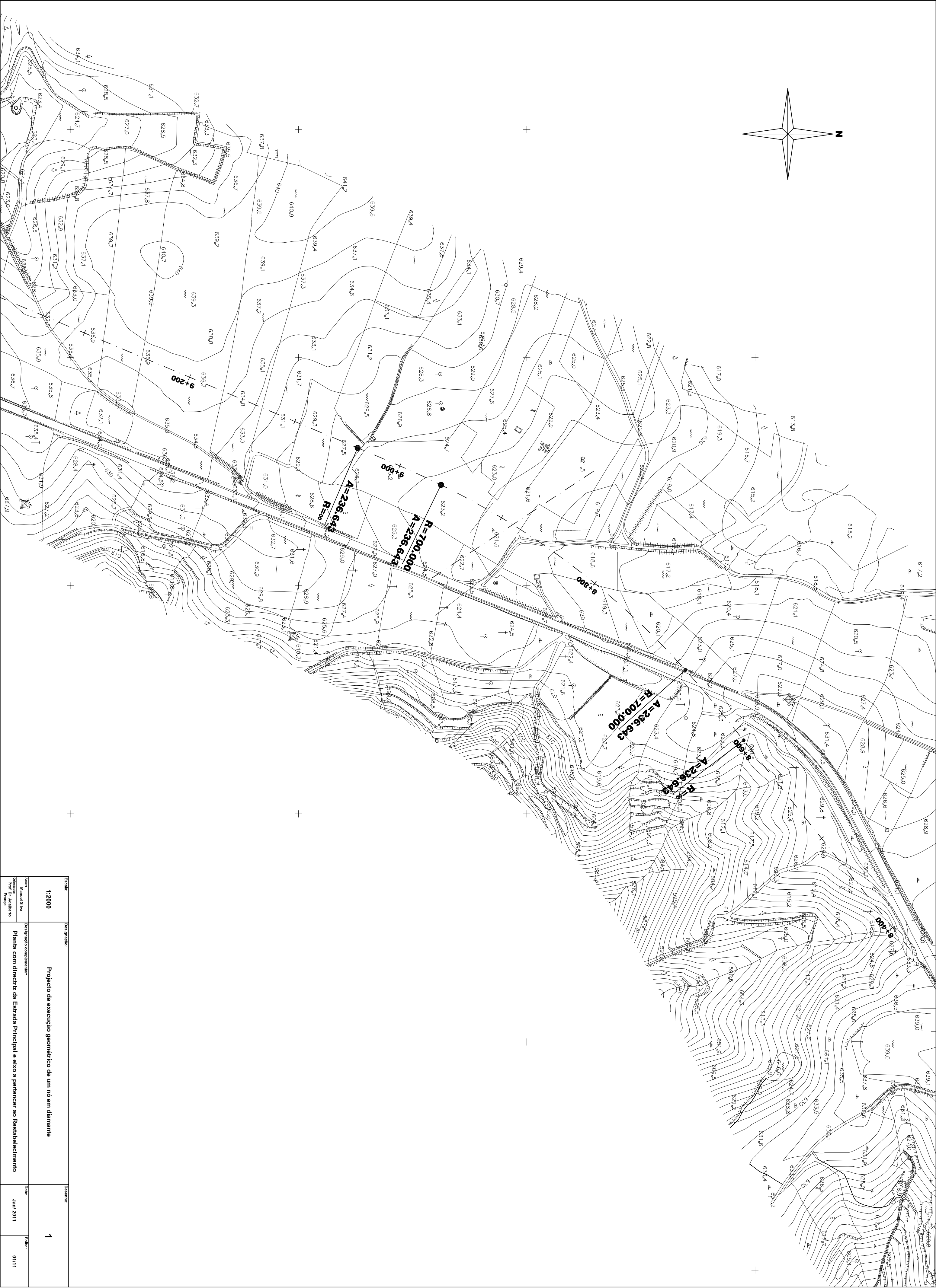
Quadro 63 – Elementos definidores da Rasante da Rotunda B

Rasante Rotunda B			
Cotas	Elementos	Características	
620,375	Trainel	i	-2,00%
		D	1,98
620,335	Concordância	D	36
		R	600
620,695	Trainel	i	4%
		D	12,17
621,182	Concordância	D	36
		R	600
621,542	Trainel	i	-2,00%
		D	58,36
620,375			

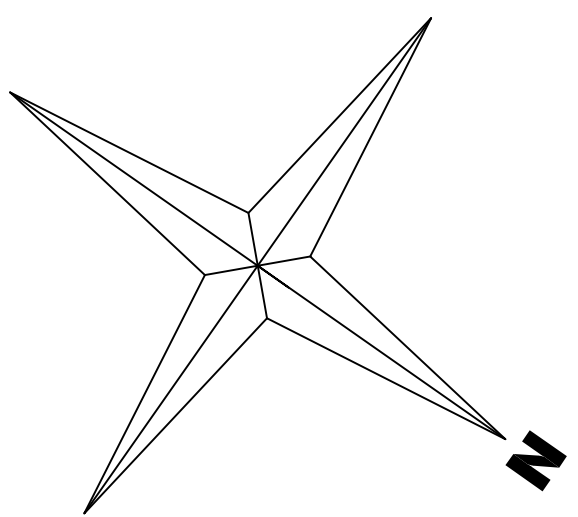
Legenda: R – Raio da Concordância

D – Desenvolvimento do elemento

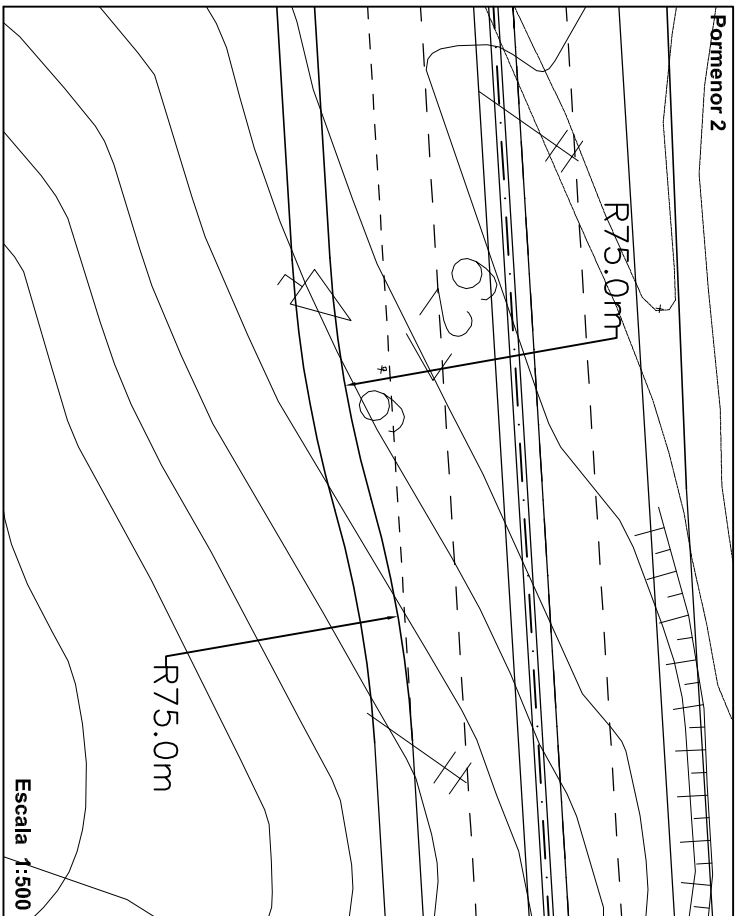
i – inclinação do trainel



Escala:	Designação:	Desenho:
1:2000	Projecto de execução geométrico de um nó em diamante	1
Autores: Manuel Silva Cristiano Ladoeiro Prof. Francisco	Designação complementar: Planta com directriz da Estrada Principal e eixo a pertencer ao Restabelecimento	Data: Jan 2011 Folha: 01/11

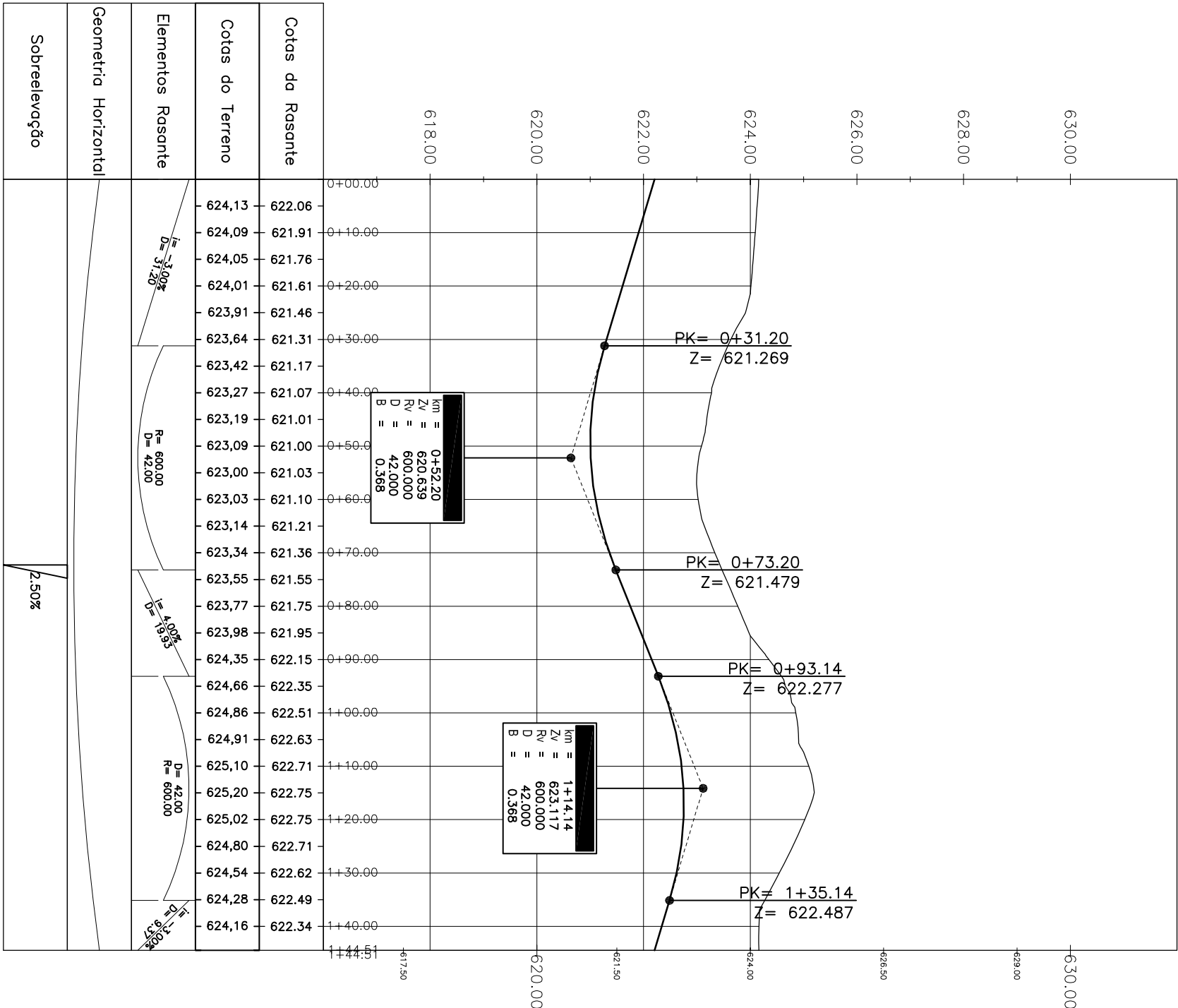


Enunciado	Desafio	Ordem
1-1000	Projeto de execução geométrica de um nó em diamante	3
Autor: Assunto: Categoria: Ano: Valor:	Descrição complementar: Data: Data: Data:	Data: Data: Data:
Autor: Assunto: Categoria: Ano: Valor:	Descrição complementar: Data: Data: Data:	Data: Data: Data:

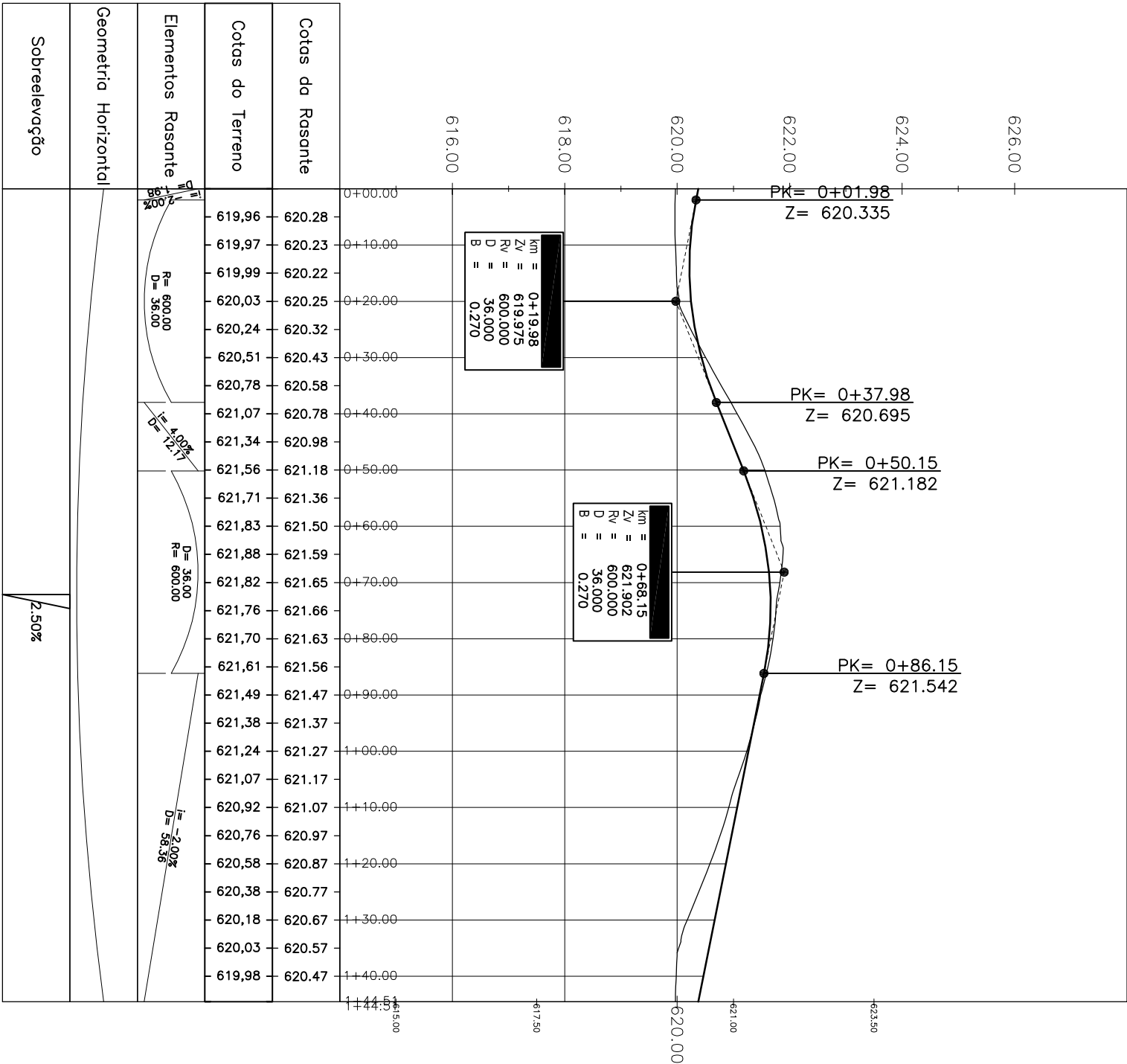


Exatidão	Desenvolvido	Desempenho:	4
1:1000	Projeto de execução geométrica de um rio em diâmetro		
Desenho: A. A. A. A.	Classificação construtor:	DATA:	DATA:
Desenho: A. A. A. A.	Planta Geral	Jun 2011	04/11

Perfil Longitudinal Rotunda A

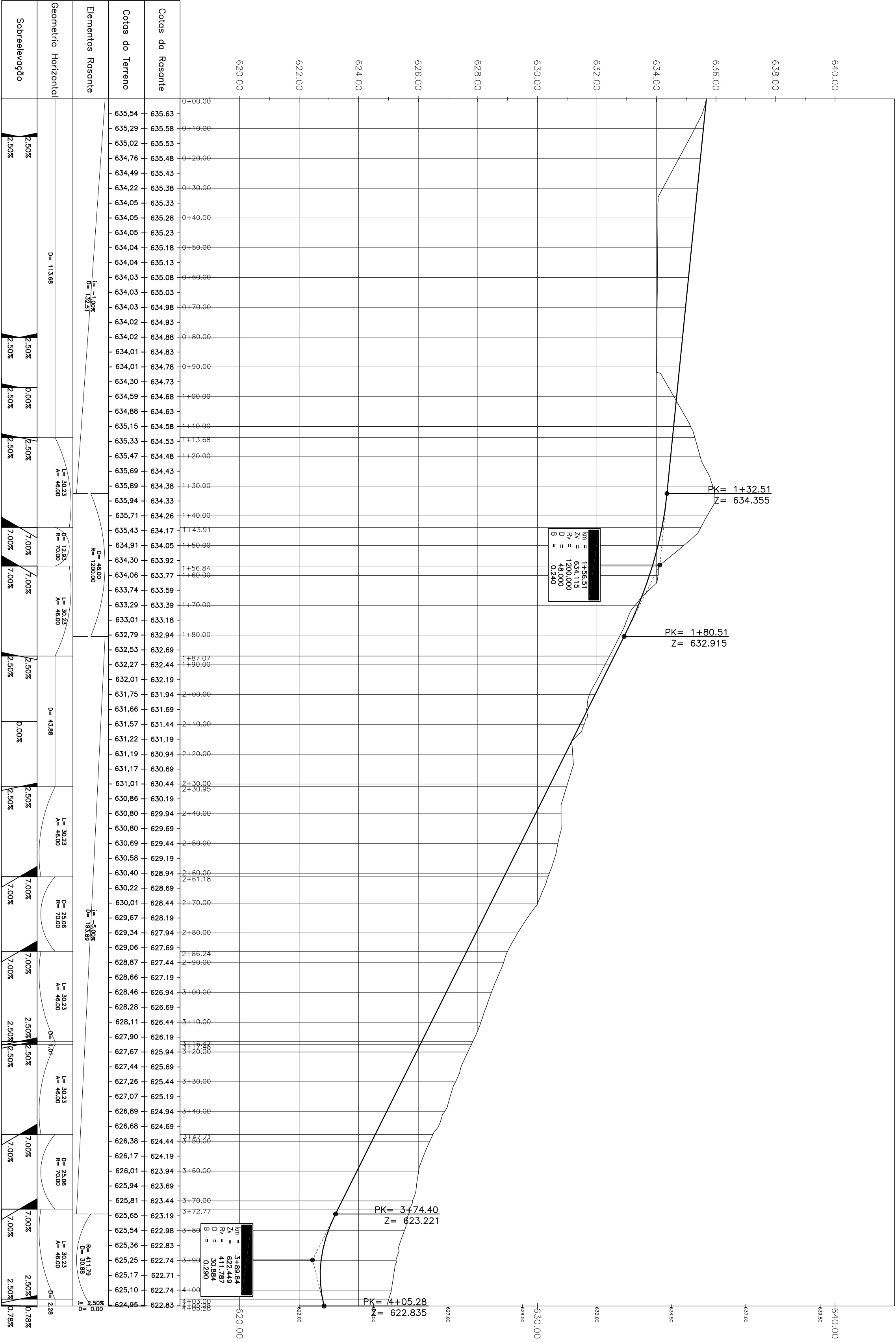


Perfil Longitudinal Rotunda B



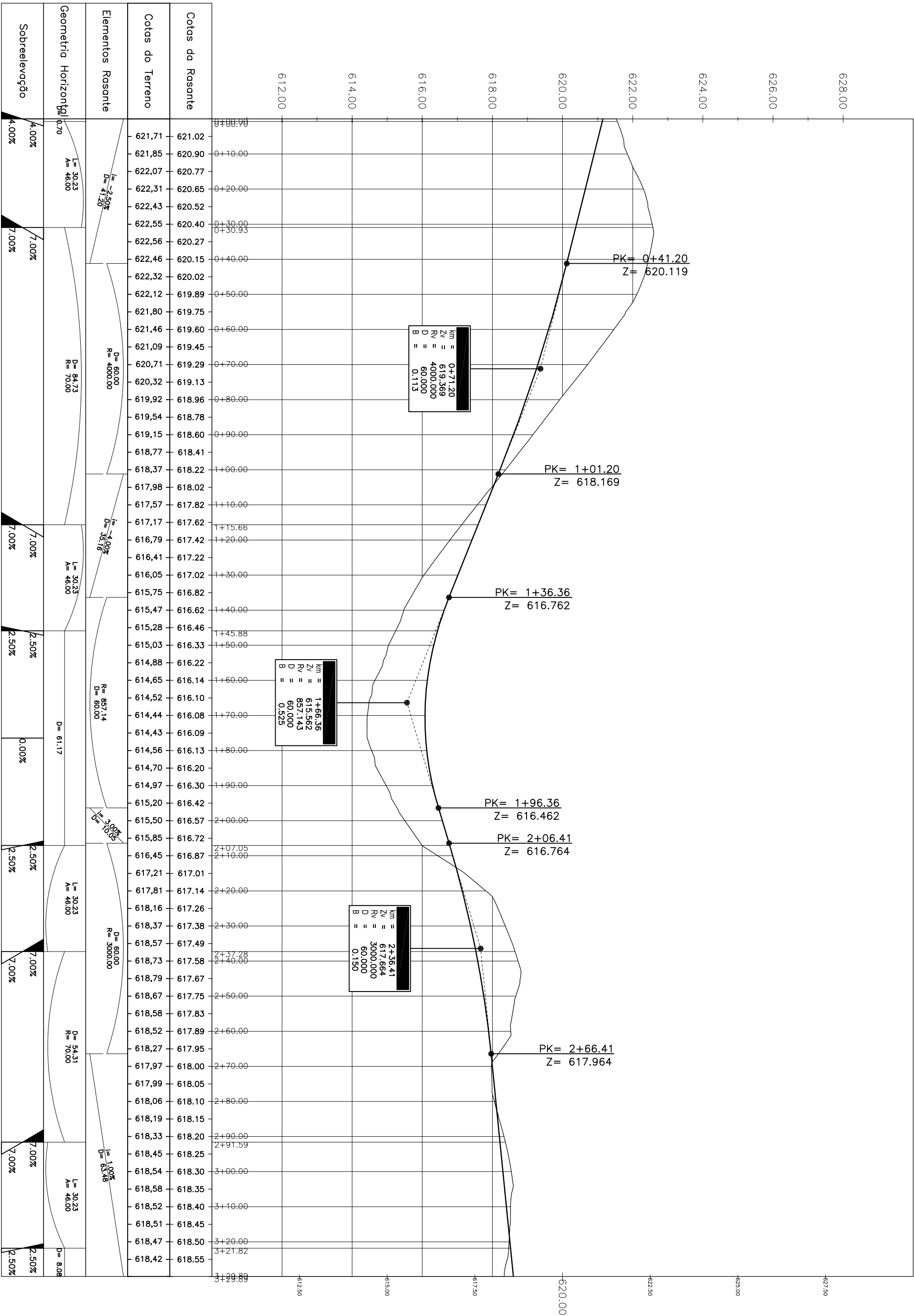
Perfil Longitudinal

Restabelecimento 1

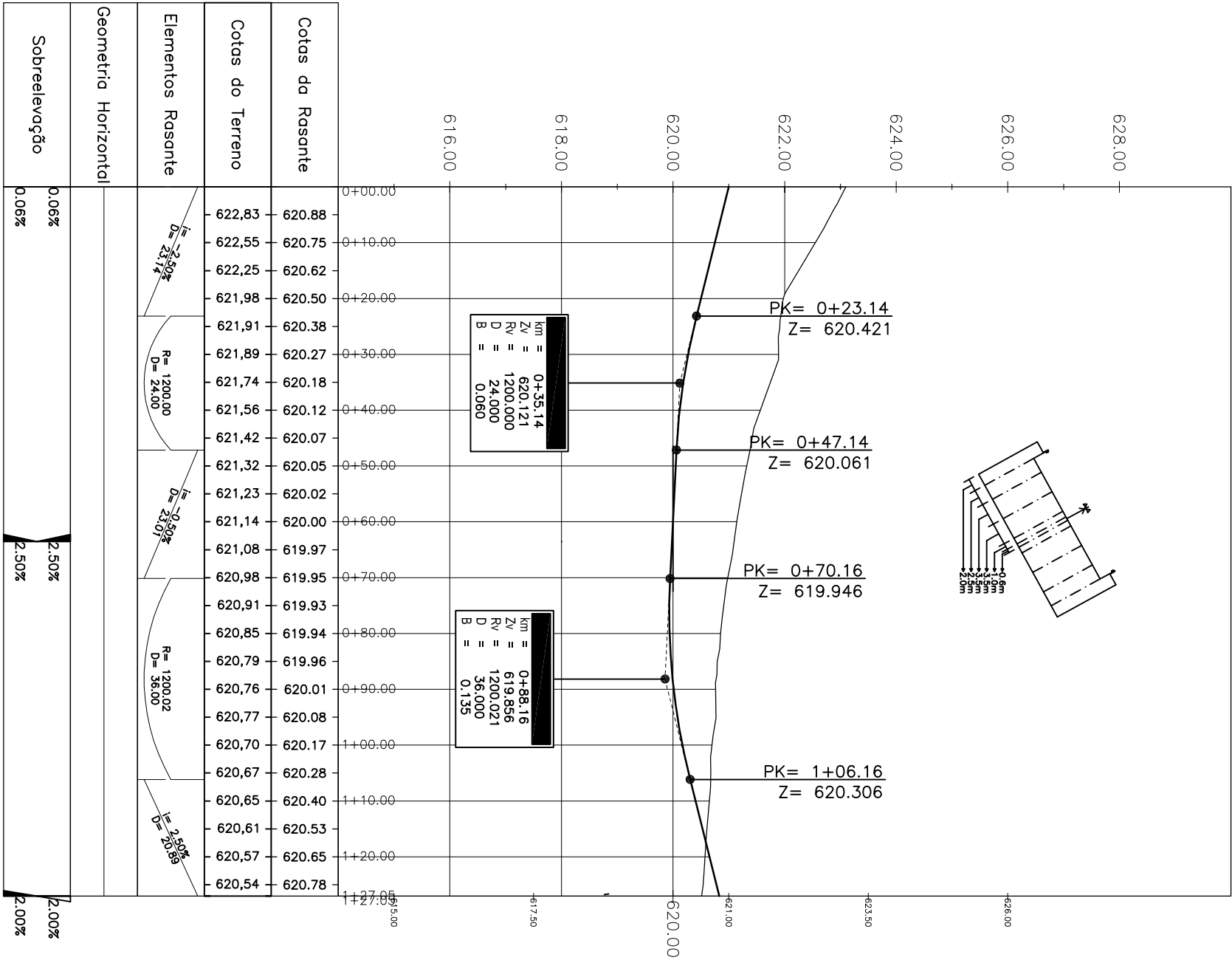


Perfil Longitudinal

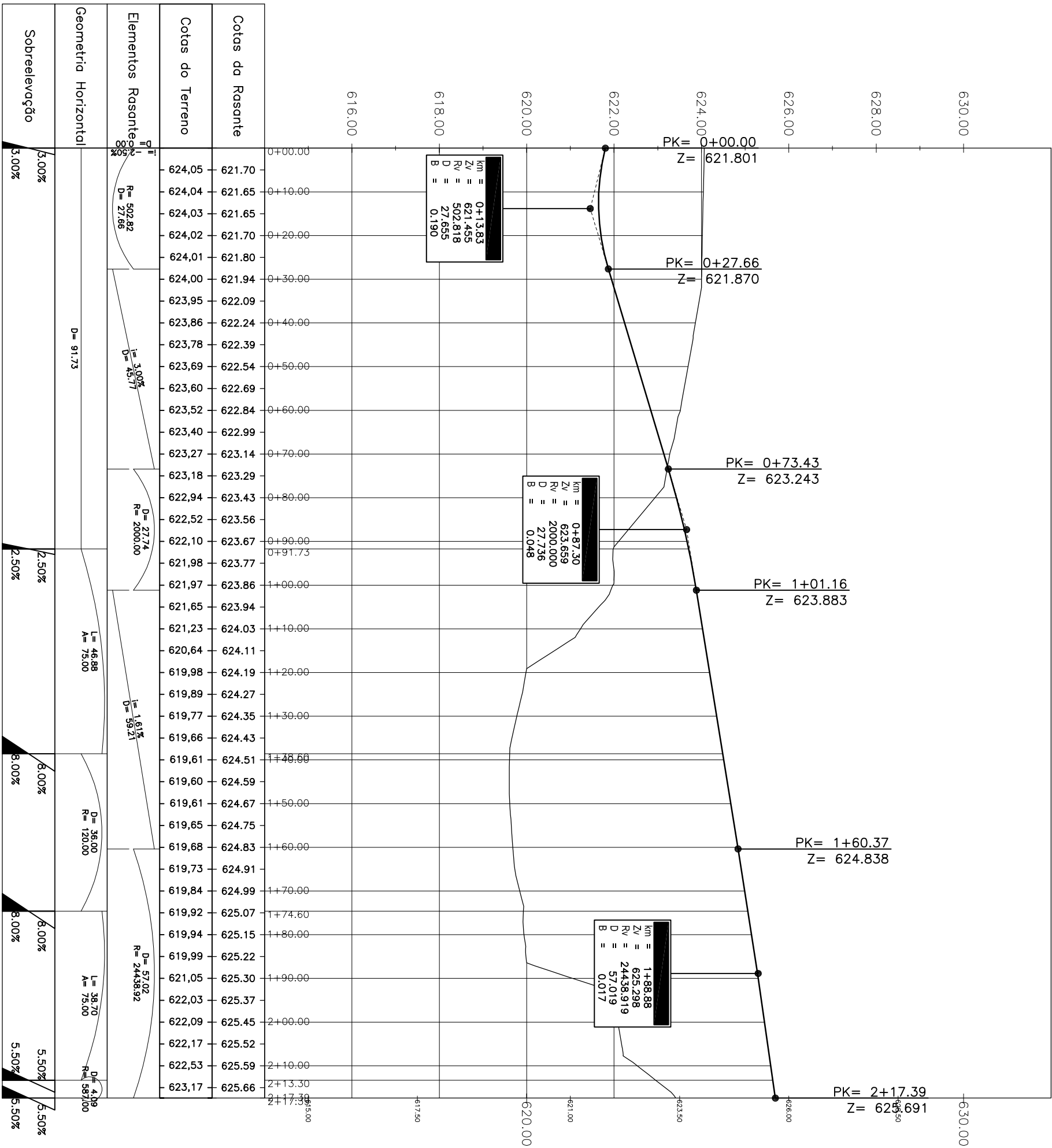
Restabelecimento 3



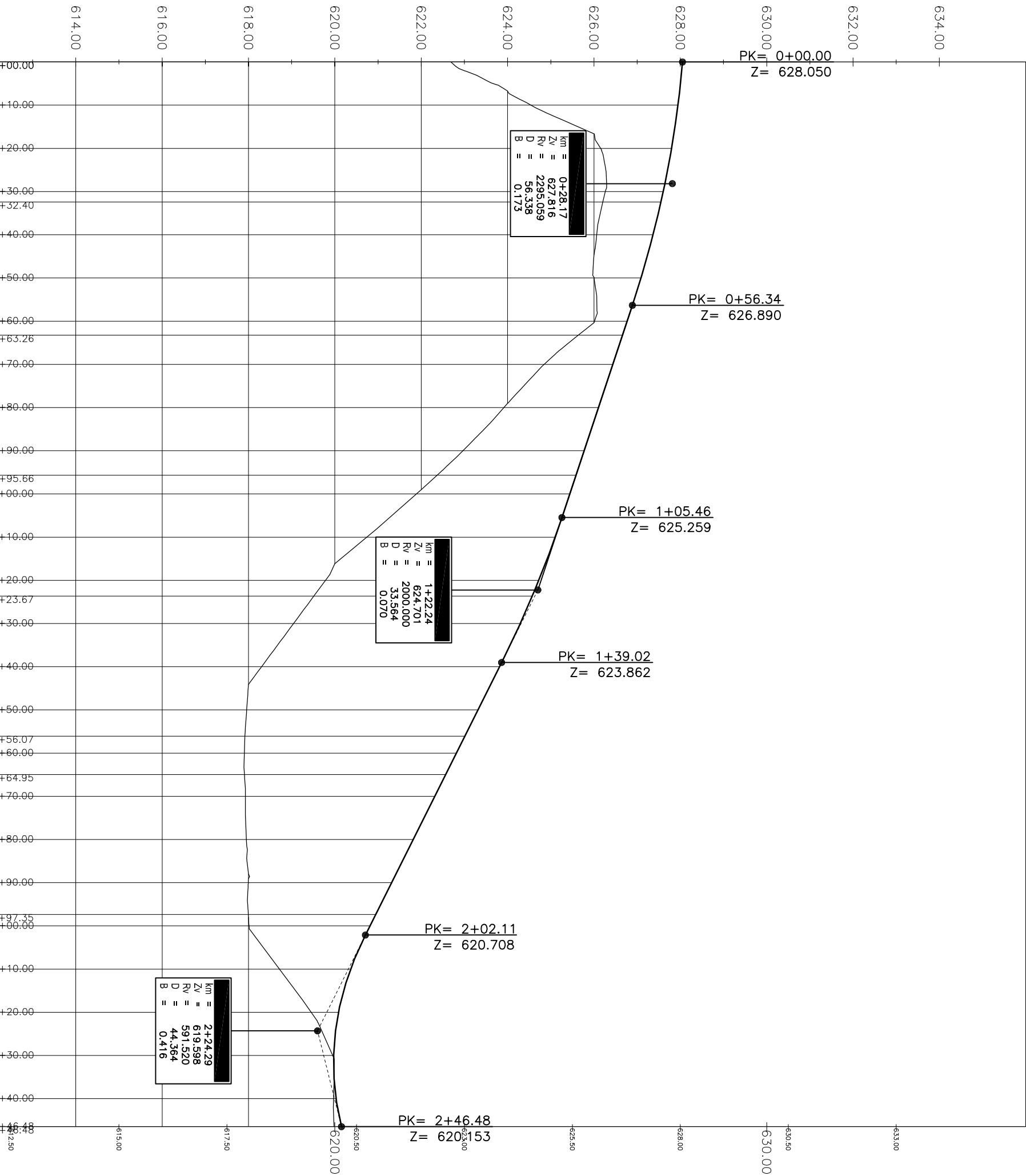
Perfil Longitudinal Restabelecimento 2



Perfil Longitudinal Ramo 4



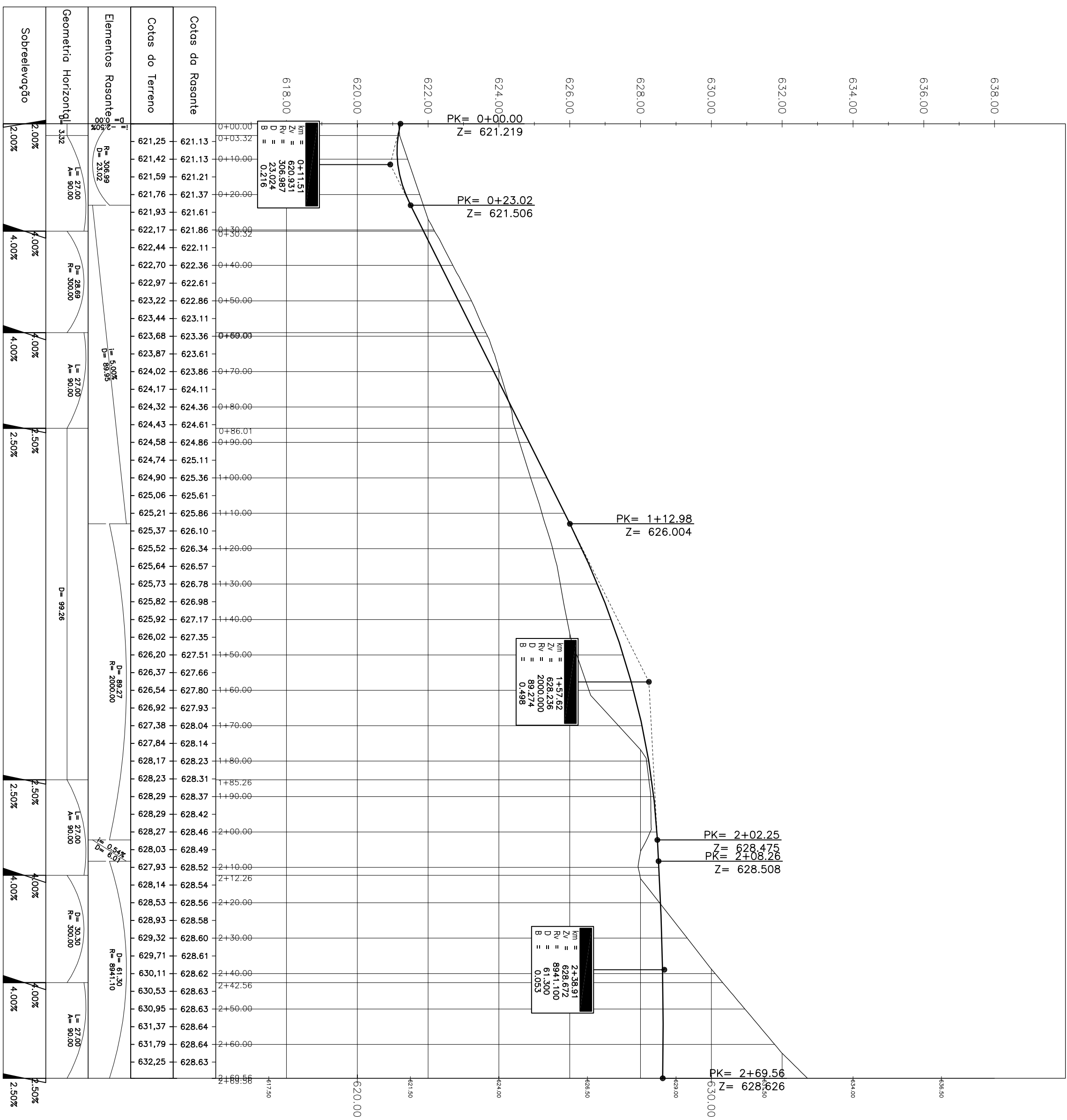
Perfil Longitudinal
Ramo 1



Cotas da Rasante	628.00	627.95	627.88	627.80	627.71	627.60	627.49	627.37	627.23	627.09	626.93	626.77	626.60	626.44	626.27	626.10	625.94	625.77	625.61	625.44	625.27	625.10	624.92	624.72	624.51	624.29	624.06	623.81	623.56	623.31	623.06	622.81	622.56	622.31	622.06	621.81	621.56	621.31	621.06	620.81	620.57	620.37	620.20	620.08	620.01	619.97	619.98	620.12												
Cotas do Terreno	623,67	624,54	625,63	626,15	626,28	626,26	626,15	626,06	626,00	626,07	626,01	625,42	624,85	624,37	623,91	623,46	622,97	622,44	621,89	621,32	620,74	620,14	619,79	619,41	619,04	618,67	618,30	617,99	617,96	617,92	617,90	617,91	617,93	617,93	617,95	617,96	617,99	617,98	618,01	618,34	618,72	619,09	619,45	619,73	619,95	619,98	619,97	619,98												
Elementos Rasante	$D=56,34$ $R=2255,06$					$D=50,86$ $R=259,00$					$L=32,40$ $A=50,00$					$L=32,40$ $A=50,00$					$D=28,01$					$L=32,40$ $A=50,00$					$D=8,88$ $R=280,00$					$L=32,40$ $A=50,00$					$D=49,13$																			
Geometria Horizontal																																																												
Sobre elevação	0,00%					5,00%					5,00%					5,00%					2,00%					2,00%					2,00%					2,00%					2,00%					2,00%					2,50%					0,09%				

Perfil Longitudinal

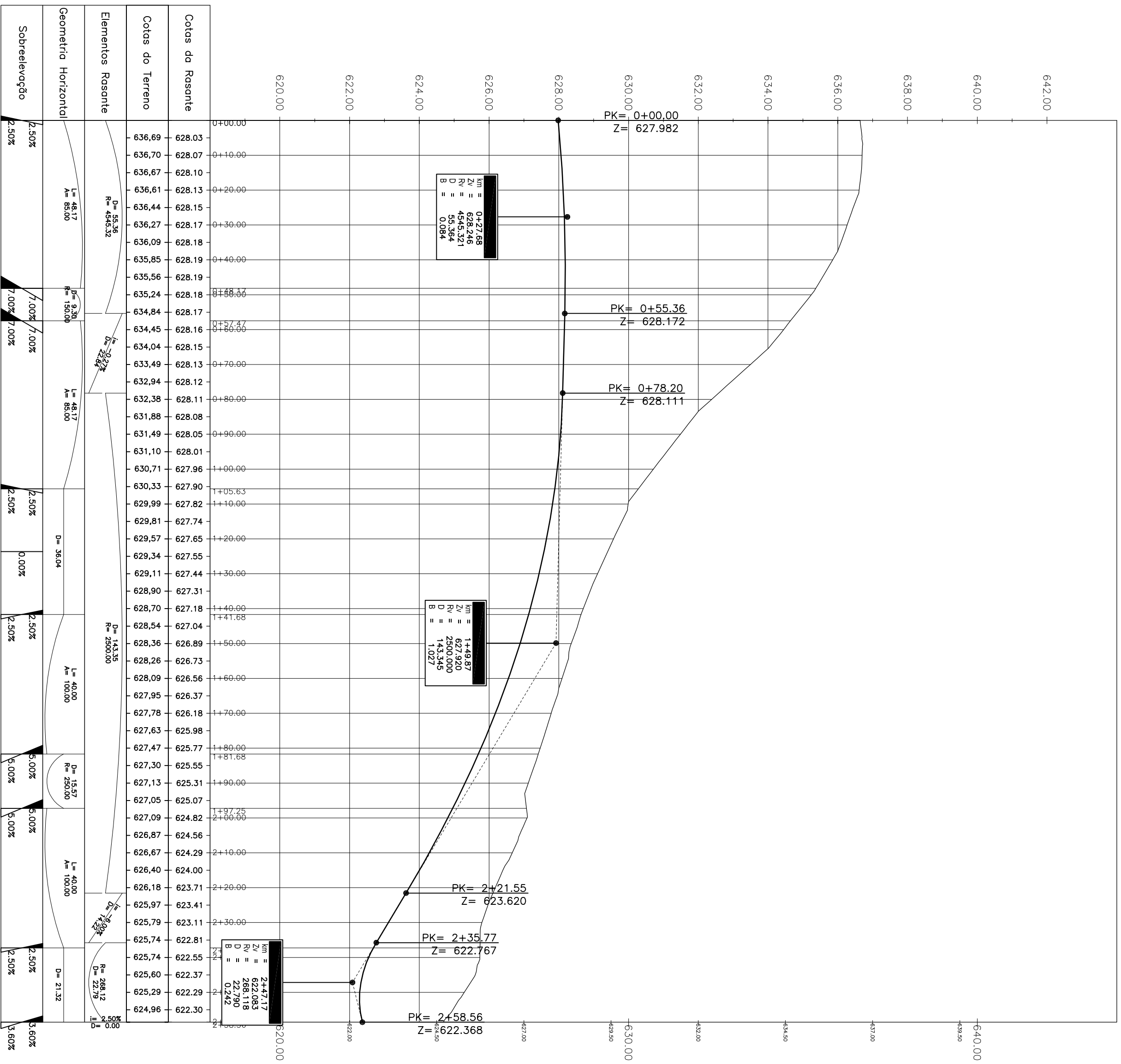
Ramo 2



<p>Escudo: H-1-1000 V-1-100</p>	<p>Desarrollado:</p>	<p>Desarrollado:</p>	<p>10</p>
<p>Proyecto de ejecución geométrica de un n° en diamante</p>	<p>Perfil Longitudinal - Ramo 2</p>	<p>Dat: Jan/ 2011</p>	<p>Fecha: 10/11</p>
<p>Autores: Miguel Silva Oscar de Assis Pedro Franca</p>	<p>Colaborador complementario:</p>		

Perfil Longitudinal

Ramo 3



Escala:	Desenho:
H - 1:1000 V - 1:100	11
Designação complementar:	
Autor: Manuel Silva Cooperante: J. A. Ribeiro Prof. France	Data: Jan/ 2011 Folha: 11/11
Perril Longitudinal - Ramo 3	